



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

TRABAJO FIN DE GRADO:

***“ANÁLISIS DE USABILIDAD DE
RECONOCIMIENTO BIOMÉTRICO POR
FIRMA MANUSCRITA EN IPAD”***

Titulación:	G. Ing. en sistemas audiovisuales
Alumno:	Luis Antonio Díaz Fernández
Tutor:	Raúl Sánchez Reíllo

Agradecimientos

*“Que cada uno, con el don que ha recibido,
se ponga al servicio de los demás”*

1Pe 4,10

En primer lugar, a Ramón, por su interés y dedicación, por su paciencia, pero sobre todo por su amistad.

A la parroquia de Santos Justo y Pastor y a la parroquia Santa Teresita, por su disponibilidad a todas horas y su servicio incondicional.

*A Dani y a Adrián, por perseverar en nuestra amistad, a pesar de la distancia.
A Álvaro, a Josep y a Kepa, por estar siempre.*

A Sara, por todo. Por alegrarse con mis victorias, por permanecer en las derrotas. Por tantas y tantas horas compartidas durante este tiempo.

A mi madre, a mi padre y a mi hermano, por enseñarme el valor del esfuerzo y el sufrimiento, por enseñarme a valorar todo lo que tengo, por tantos madrugones que les han supuesto estos años, porque que pueda ser ingeniero, es gracias a ellos.

Resumen

Los sistemas de firma manuscrita en distintos dispositivos digitales ya están considerablemente arraigados en la sociedad actual, ya sea a la hora de firmar un recibo en el banco, firmar un contrato o pagar en el supermercado.

La modalidad biométrica de firma manuscrita, que es la modalidad a tratar en este trabajo, añade nuevas variables al análisis biométrico, tales como la comodidad del sujeto a la hora de firmar, la familiaridad con la tecnología, los distintos dispositivos del mercado e incluso el estado de ánimo del usuario.

El objetivo de este estudio es el de abrir nuevas líneas de investigación, estudiando la usabilidad del dispositivo iPad de Apple en base a las firmas realizadas sobre el mismo con diferentes styluses y en diferentes escenarios. Se extraerán conclusiones sobre qué stylus nos permite obtener una menor tasa de error, la posición preferida del usuario a la hora de firmar y, finalmente, se tratará de descubrir qué tipo de dificultades se presentan comúnmente y cómo evitarlas.

Abstract

Handwritten signature recognition systems in different digital devices are already considerably established in today's society, either by signing a receipt in the bank, by signing a contract or paying at the supermarket.

The handwritten signature recognition biometric, which is this work target, adds new variables to the biometric analysis, as subjects' comfort when signing, if he/she is familiarized with technology, different devices on the market and even the users' mood.

The objective of this research will be open new investigation fields, evaluating the usability of the Apple iPad based on the signatures made on it with different styluses. Conclusions will be drawn about which stylus returns a lower error rate, which is the most comfortable position when signing and, finally, discovering which kind of difficulties appear commonly and how to avoid them.

Índice de contenido

Resumen.....	3
Abstract	3
Índice de figuras	6
Índice de tablas	7
Índice de acrónimos	8
1. Introducción	9
1.1 Motivación	9
1.2 Objetivos	10
2. Estado del arte	12
2.1 iPad.....	12
2.2 iOS	13
2.3 Biometría.....	13
2.3.1. Métodos tradicionales de identificación y reconocimiento biométrico	13
2.3.2 Funcionamiento y rendimiento de los sistemas biométricos	14
2.3.3 Las características biométricas.....	14
2.3.4 Reconocimiento biométrico por patrones faciales	16
2.3.4 Reconocimiento biométrico por huella dactilar.....	17
2.3.5 Reconocimiento biométrico por geometría de la mano	17
2.3.6 Reconocimiento biométrico por iris ocular.....	18
2.3.7 Otros tipos de reconocimiento biométrico	18
2.4 El modelo HBSI	19
2.5 Reconocimiento biométrico por firma manuscrita	22
3 Evaluación	25
3.1 Planteamiento de la evaluación	25
3.2 Escenarios de evaluación	25
3.3 Equipos de recogida de datos	26
3.4 Software	27
3.5 Algoritmo.....	28
3.6 Descripción del marco general de la evaluación.....	29
3.6.1 Entorno.....	29
3.6.2 Usuarios.....	31

3.6.3	Visitas	33
3.6.4	Niveles de esfuerzo y políticas de decisión	34
3.6.5	Tiempos del proceso	36
4	Ejecución de las pruebas	37
4.1.	Análisis de las características de los usuarios	37
4.2.	Análisis de los escenarios	38
4.3.	Análisis de los styluses	39
4.4.	Análisis de la visita.....	40
4.5.	Experimentos	42
4.6.	Problemas durante el desarrollo de la evaluación.....	44
5	Resultados	46
5.1.	Resultados de la usabilidad	46
5.1.1.	Efectividad	46
5.1.2.	Eficiencia.....	46
5.1.3.	Satisfacción.....	49
5.2.	Resultados del rendimiento	50
6.	Conclusiones y trabajo futuro	52
6.1.	Conclusiones.....	52
6.1.1.	Conclusiones sobre la usabilidad	52
6.1.2.	Conclusiones sobre el rendimiento.....	53
6.2.	Trabajo futuro	53
7.	Referencias.....	55
Anexo A	58
Anexo B	61
Anexo C	64

Índice de figuras

Figura 1: iPad 1 [2].....	12
Figura 2: Imágenes controladas [6].....	16
Figura 3: Imágenes no controladas [6].....	16
Figura 4: Sensor óptico FX3000 [12]	17
Figura 5: Terminal de captura y reconocimiento biométrico para dos dedos [14]	18
Figura 6: Modelo conceptual de HBSI [20].....	20
Figura 7: Método de evaluación del HBSI [21].....	20
Figura 8: Estructura de las interacciones biométricas de HBSI [19].....	21
Figura 9: Firmas originales (izq.) y falsificadas (dcha.) en un caso judicial célebre [26]	24
Figura 10: Escenarios en los que se realiza la evaluación	26
Figura 11: Pantalla principal de firma del usuario	28
Figura 12: Escenario de referencia.....	29
Figura 13: Escenario 3	30
Figura 14: Situación de la cámara de vídeo en los escenarios	31
Figura 15: Usuario firmando en el escenario 1 (referencia)	38
Figura 16: Usuario firmando en el escenario 2	38
Figura 17: Usuario firmando en el escenario 3	39
Figura 19: Styluses utilizados en la evaluación	40
Figura 21: Proceso de la primera visita	41
Figura 22: FAR, FRR y EER.....	44
Figura 23: Ratio de efectividad en los escenarios para cada visita	46
Figura 24: Error de eficiencia en los escenarios para cada visita	47
Figura 25: Tiempo medio por escenario	48
Figura 26: Tiempo medio por stylus.....	48
Figura 27: Tiempo medio de stylus por escenario	49
Figura 28: Niveles de satisfacción en la evaluación	49
Figura 30: Curvas ROC y EER (%) del stylus rosa, blanco y negro.....	51

Índice de tablas

Tabla 1: <i>Orden de styluses y escenarios</i>	42
Tabla 2: <i>Tiempo medio por stylus en cada escenario por sesión</i>	47
Tabla 3: <i>EER (%)</i>	50
Tabla 4: <i>Horas de las fases</i>	65
Tabla 5: <i>Costes de los materiales</i>	65
Tabla 6: <i>Costes del personal</i>	66
Tabla 7: <i>Coste total del proyecto</i>	66

Índice de acrónimos

PIN	<i>Personal Identification Number</i>
HBSI	<i>Human-Biometric Sensor Interaction</i>
iOS	<i>iPhone Operative System</i>
PPI	<i>Pixels Per Inch</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
IPS	<i>In-Plane Switching</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
FAR	<i>False Acceptance Rate</i>
FRR	<i>False Rejection Rate</i>
ERR	<i>Equal Error Rate</i>
CCD	<i>Charge-Coupled Device</i>
IBG	<i>International Biometric Group</i>
FTA	<i>Failure To Acquire</i>
DI	<i>Defective Interaction</i>
CI	<i>Concealed Interaction</i>
FI	<i>False Interaction</i>
FTD	<i>Failure To Detect</i>
FTX	<i>Failure To Extract</i>
SAS	<i>Successfully Acquired Sample</i>
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic</i>

1. Introducción

En este Trabajo Fin de Grado se ha realizado una evaluación de usabilidad sobre el reconocimiento biométrico por firma manuscrita sobre un dispositivo móvil. Para ello se han utilizado tres “styluses” conductivos diferentes, muy comunes en el mercado actual y una tableta digital no específica para firma manuscrita. La evaluación se ha llevado a cabo en tres escenarios diferentes y han participado en ella 21 usuarios.

Podemos definir el reconocimiento biométrico como el reconocimiento de la identidad de una persona basado en rasgos característicos y unívocos, ya sean atributos físicos o de comportamiento.

Se tratará de establecer qué styluses son los óptimos para la modalidad biométrica por firma manuscrita, utilizando para ello las 324 firmas realizadas por 21 voluntarios. Cada uno de los voluntarios firmó en una tableta iPad con distintos styluses en diferentes posiciones. Los resultados obtenidos son las tasas de error del algoritmo, las notas recogidas por el supervisor de la prueba, los formularios y las grabaciones de audio y video que se realizaron en todo momento.

En esta primera parte de la memoria, se explicarán las motivaciones que han llevado a desarrollar este proyecto y cuáles son sus objetivos. Posteriormente se detallará cómo se ha realizado, los soportes utilizados y el motivo de su elección, el desarrollo de la evaluación, los problemas encontrados y por último se discutirán las conclusiones finales obtenidas y si coinciden con los resultados que cabían esperar antes de realizar el trabajo. También se describirán las posibles líneas futuras de trabajo.

1.1 Motivación

La tecnología está de forma muy presente en nuestra vida, continuamente el ser humano se está relacionando con diferentes sistemas tecnológicos (smartphones, ordenadores, tabletas, etc.), tanto personales como de uso público. Existe una tendencia común en la tecnología: que dichos sistemas dejen de ser fijos para pasar a ser sistemas móviles. Además, han de cumplir las exigencias impuestas por los usuarios, como son la usabilidad, el rendimiento y la sencillez de uso. La biometría también se debe adaptar a esta migración, asegurando un comportamiento óptimo sin comprometer la calidad de servicio.

Por otro lado, los usuarios y, en general, la sociedad reclaman un aumento de la seguridad y confidencialidad presente en los dispositivos móviles, ya que es manifiesto que este aspecto es de preocupación general. Por ello, los sistemas personales requieren de una autenticación para evitar que sean manejados por personas que no están autorizadas, como el PIN del teléfono móvil o la contraseña del ordenador personal. El usuario se encuentra con que cada vez tiene que memorizar más claves y contraseñas

distintas; lo que provoca que sea muy sencillo olvidarse de ellas o que tenga que recurrir a un documento o archivo donde tenerlas todas guardadas con el riesgo que esto supone. Los sistemas de uso público requieren de una autenticación que permita distinguir que es una persona concreta y no otra, la que está interaccionando con ellos. Son ejemplos de ello la presencia de la biometría en el acceso a un área de seguridad mediante el reconocimiento de la huella dactilar o el reconocimiento facial utilizado en algunos aeropuertos.

En la mayoría de los sistemas de reconocimiento biométrico, existe una tendencia a tratar de alcanzar las mejores tasas de error posibles obviando la comodidad y las preferencias de los usuarios, siendo éstos los que realmente interactúan con los dispositivos. La biometría se está haciendo cada vez más presente en nuestro día a día y su estudio es de gran interés debido a que se basa en características de reconocimiento inherentes, lo que hace que la falsificación sea mucho más complicada al ser necesaria una suplantación del comportamiento (como la firma) o de atributos físicos únicos (como el iris o la huella dactilar). Concretamente, la firma manuscrita está completamente aceptada en la sociedad como un rasgo biométrico fiable, ya que su uso está extendido en todos los ámbitos, desde el supermercado hasta en grandes transacciones bancarias.

Además de todo lo mencionado anteriormente, este estudio es interesante para poder no sólo avanzar en el estado de la técnica, sino para lograr también un avance en lo que espera el usuario de esta tecnología y mejorar su experiencia en el reconocimiento biométrico.

1.2 Objetivos

Los objetivos de este trabajo fin de grado son diversos:

En primer lugar, la redacción de un documento, en el cual se detallen las características de la evaluación: qué styluses se van a utilizar, en qué posiciones se van a recoger las firmas, cuántas visitas se van a efectuar, cuántos días va a haber de separación entre visitas, etc. Se procurará en este documento que todo lo que pueda afectar al resultado final esté controlado.

La evaluación en sí misma tiene dos objetivos diferenciados: por una parte obtener una base de datos de firmas manuscritas de usuarios bajo un entorno controlado sobre el iPad y por otra parte, evaluar la usabilidad de ésta modalidad biométrica en base a los resultados obtenidos y al comportamiento de los usuarios durante el proceso. Para ello se modificarán las condiciones en las que el usuario debe presentar su firma en el dispositivo y se utilizarán diferentes styluses que son 3 modelos comunes de entre los existentes en el mercado.

Éste análisis de usabilidad tiene como objetivo encontrar los posibles inconvenientes que se le pueden presentar al usuario en el proceso con el fin de estudiarlos y poder evitarlos en futuros diseños y desarrollos tanto en firma manuscrita como en otras modalidades biométricas. A la vez, los errores de adquisición de firmas, en el caso de que los hubiese, se catalogarán dentro del registro de errores formulado por el HBSI para reconocimiento biométrico en firma manuscrita. De esta forma, se continúa la labor de investigación comenzada en trabajos previos [1].

Por último, la obtención de tiempos y tasas de error que proporcionen datos objetivos sobre la usabilidad de los diferentes styluses, así como de las posiciones. También se espera obtener un aumento del rendimiento del algoritmo utilizado según avancen las visitas, es decir, al mismo tiempo que el usuario se va acostumbrando al sistema.

Por último, mediante formularios de satisfacción se obtendrán las impresiones subjetivas de los usuarios: qué stylus y qué posición prefieren por comodidad y por fidelidad de su firma en el iPad comparada con su firma en papel, así como también su opinión sobre diferentes parámetros de la evaluación.

2. Estado del arte

En este apartado se procede a detallar el estado del arte de las distintas tecnologías que han sido utilizadas en el proyecto: dispositivos, sistema operativo, la biometría, el modelo HBSI y el reconocimiento biométrico por firma manuscrita.

2.1 iPad

El dispositivo iPad es el dispositivo escogido para la evaluación, debido a su popularidad, su presencia en el mercado y por ser uno de los dispositivos preferidos por los usuarios [1]. Las dimensiones del iPad son de 24,28 cm de alto, 18,97 cm de ancho y 1,34 cm de fondo. Dispone de una pantalla capacitiva de 1024x768 píxeles a 132 ppi. Es de tipo LCD con tecnología IPS retroiluminada con LED. Su tamaño es de 9.7 pulgadas (20 cm x 15 cm) y dispone de una cubierta oleófuga resistente a las marcas de las huellas dactilares.



Figura 1: iPad 1 [2]

El procesador del iPad 1 es un chip Apple A4 a 1GHz basado en un diseño de núcleo único ARM Cortex A8. Su memoria RAM es de 256 MB dividida en dos módulos de 128 MB DDR SDRAM y su tarjeta gráfica es la PowerVR SGX 535. [3]

2.2 iOS

iOS es un sistema operativo móvil perteneciente a la empresa Apple Inc. y disponible de forma exclusiva para sus dispositivos. Deriva de Mac OS X, es decir, es un sistema operativo Unix. Está pensado y diseñado para el control del dispositivo con el dedo. La última versión de este sistema operativo es iOS 7. Entre las grandes ventajas de este sistema operativo destaca que, al estar diseñado de forma exclusiva para sus terminales, éstos logran aprovechar al máximo sus cualidades, como por ejemplo, la experiencia de usuario [4]. No obstante, este sistema operativo presenta determinados inconvenientes como que no permite Adobe Flash ni Java. Como alternativa, se utiliza HTML5 debido a su gran compatibilidad con el navegador de iOS, Safari. [5]

Xcode es el entorno de desarrollo integrado de programación de Apple, cuyo lenguaje de programación propio es Objective-C. Objective-C, que es un lenguaje de programación orientado a objetos basado en el lenguaje C. Una de sus características es la de enviar mensajes a instancias de objetos en lugar de llamar a métodos. Es el lenguaje que se ha utilizado para desarrollar el programa de captura de firmas.

2.3 Biometría

2.3.1. Métodos tradicionales de identificación y reconocimiento biométrico

La biometría como es conocida hoy en día, está basada en ideas o técnicas utilizadas desde los comienzos de la civilización, ya que el reconocimiento facial o la voz han sido utilizados por los seres humanos desde siempre para distinguir a las personas. A mediados del siglo XIX, Alphonse Bertillon, jefe de la división de identificación criminal de la policía de París, desarrolla la idea de identificar a los criminales mediante distintas medidas del cuerpo, la cual fue utilizada hasta el descubrimiento de la exclusividad de las huellas dactilares.

Los métodos tradicionales de identificación son métodos basados en la memoria del individuo o mediante la posesión de una tarjeta o token. Estos métodos presentan problemas como la pérdida de los documentos acreditativos, olvido o robo de las contraseñas, etc. Mediante la biometría *“es posible determinar la identidad de una persona en base a quien tú eres, en lugar de lo que tú posees o lo que tú recuerdas”* [6]. Con el uso del reconocimiento biométrico la mayoría de estos problemas no sólo quedan solucionados, sino que además aparecen nuevas ventajas que las contraseñas y acreditaciones no pueden ofrecer como son el reconocimiento negativo y el no repudio.

El reconocimiento negativo es *“el proceso mediante el cual un sistema determina que un individuo es, en efecto, el que se ha inscrito en el sistema, aunque el propio individuo lo pueda negar”* [6]. Es decir, que mediante el reconocimiento biométrico se tiene la certeza de que únicamente un usuario en concreto ha accedido a un recurso por sus características únicas e irremplazables, y no cualquier otra persona. Esta forma de

reconocimiento que ofrece la biometría es especialmente ventajosa en aquellos casos en los que es necesario que cada individuo acceda una única vez a un recurso y que no lo pueda hacer bajo distintos nombres, como por ejemplo podría suceder a la hora de reclamar al estado una pensión.

Por otro lado, el no repudio es *“la manera de garantizar que un individuo que accede a cierto sistema no pueda negar después que lo ha utilizado”* [6]. Aprovechando la singularidad de las características biométricas, se puede tener por seguro quién ha utilizado cierto sistema, eliminando la excusa de que ha sido un impostor mediante el robo de credenciales.

2.3.2 Funcionamiento y rendimiento de los sistemas biométricos

Para este trabajo se han utilizado las medidas más comunes para categorizar un sistema biométrico, como son el FAR y el FRR. El FAR representa la probabilidad estadística de que un impostor sea categorizado como un usuario genuino. Que el valor del FAR sea muy alto, indica que un usuario genuino va a ser aceptado por el sistema la mayor parte de las veces, lo que permite que el usuario no tenga que repetir la prueba. Sin embargo, la seguridad del sistema se reduce, al aumentar también la facilidad con la que un impostor pueda acceder como un usuario genuino. El FRR, por el contrario, representa la probabilidad de que un usuario genuino, sea categorizado como un impostor. Un valor alto del FRR es indicador de que la seguridad del sistema es alta, y que a un impostor le será complicado acceder como un usuario genuino. Sin embargo, un valor alto de esta tasa indica que el usuario genuino en ocasiones es rechazado como si fuese un impostor, lo que le obligará a repetir la prueba.

Con ambas medidas se puede obtener el EER. El EER es el nivel de error común entre el FAR y el FRR, es decir, el valor del error en que ambas tasas son iguales. Que el EER sea bajo, es indicativo de que el sistema es fiable, es decir, que pocos usuarios genuinos van a ser rechazados y que pocos impostores van a ser aceptados como genuinos. Además, con objeto de medir la usabilidad y, basándonos en el método HBSI el cual estudia la usabilidad de los sistemas, se estudia también la FTA, la cual afecta además a las otras tres tasas. La FTA es la tasa que indica con qué frecuencia el sistema biométrico falla a la hora de capturar el rasgo biométrico. Puede ser por diversos motivos: Mal funcionamiento del dispositivo o del software, errores humanos, condiciones ambientales, etc.

2.3.3 Las características biométricas

Son muchos y muy variados los sistemas biométricos, aunque podemos distinguirlos en dos grandes tipos:

En primer lugar, los sistemas de reconocimiento biométrico basados en características físicas. Son aquellos que se basan en la caracterización de atributos

físicos únicos. Ejemplos de este tipo de características son las huellas dactilares, el iris, el rostro, o la geometría de la mano entre otros. De las características físicas derivan los sistemas de reconocimiento biométrico llamados de tipo estático, ya que para realizar la captura de las características biométricas no se le requiere un esfuerzo extra al usuario a parte de presentar el atributo biométrico (poner la huella dactilar en un sensor, mirar a una cámara, etc.).

Por otro lado, están los sistemas de reconocimiento biométrico basados en el comportamiento. Están basados en las acciones de un individuo que son propias y únicas. Algunos ejemplos son el modo de caminar, la cadencia de tecleo o la firma manuscrita. Éstas modalidades también se denominan dinámicas ya que el usuario tiene que realizar un esfuerzo añadido para poder ser identificado (firmar en un dispositivo, caminar, hablar, etc.).

Cada sistema biométrico tiene sus pros y sus contras y su uso varía en función de las necesidades de la aplicación. Se pueden identificar siete factores que debería cumplir cualquier sistema biométrico, ya sea físico o de comportamiento [7]:

- a) Universalidad: Todo individuo que trate de acceder a la aplicación debe poseer el rasgo necesario.
- b) Singularidad: El rasgo necesario para la identificación debe ser lo suficientemente diferente entre los individuos.
- c) Permanencia: El rasgo biométrico de un individuo debe permanecer invariante en el tiempo respecto al algoritmo de identificación. Un rasgo que varia significativamente no es útil.
- d) Cuantificable: Debe ser posible adquirir y digitalizar el rasgo biométrico de una forma cuantitativa, sin ocasionar grandes inconvenientes al individuo.
- e) Rendimiento: La precisión del reconocimiento y los recursos requeridos para conseguirlo, están limitados en base a que los aciertos del sistema cumplan con las restricciones impuestas por la aplicación.
- f) Aceptabilidad: Los individuos de la población a los que está dirigido el sistema biométrico en concreto, y que lo van a utilizar, deben estar dispuestos a agregar el identificador biométrico a su vida diaria.
- g) Fiabilidad: Es la vulnerabilidad del sistema, es decir, la facilidad con la que los rasgos del usuario pueden ser imitados y el sistema engañado mediante métodos fraudulentos. Puede ser, por ejemplo, usando artilugios artificiales para los rasgos físicos o la mímica para los rasgos de comportamiento.

No existe ningún sistema biométrico que sea ideal, pero sí que varios de ellos son admisibles, es decir, que cumplen de forma aceptable los factores arriba mencionados. Los sistemas más comunes están descritos a continuación.

2.3.4 Reconocimiento biométrico por patrones faciales

Es uno de los sistemas de reconocimiento más demandados en la actualidad. Su uso es común en los aeropuertos y en zonas abiertas y/o concurridas. El reconocimiento facial se basa en la posición y forma de ciertos atributos faciales como los ojos, cejas, nariz, o los labios; así como las relaciones espaciales entre ellos y un análisis global del conjunto.

La mayor ventaja que presenta esta modalidad de reconocimiento es que es un método no intrusivo, es decir, el usuario puede ser identificado incluso sin llegar a darse cuenta. Los mayores inconvenientes que presenta esta modalidad aparecen a la hora de adquirir la imagen de la cara, pudiéndose presentar variables que reduzcan la calidad de la imagen capturada, como la luz incidente, las sombras, los fondos, el gesto de la cara, disfraces, etc. Todos estos problemas se minimizan cuando el entorno y dichas variables son controlables:



Figura 2: Imágenes controladas [6]



Figura 3: Imágenes no controladas [6]

Como se puede observar en la Figura 2, la imagen se capta en un entorno controlado, con una luz incidente determinada, evitando las sombras en la zona de interés y con un fondo plano. En la Figura 3, la luz es la disponible en cada momento,

generando sombras en la cara que pueden dificultar el reconocimiento. Tampoco hay un fondo homogéneo, que puede originar otro tipo de problemas.

2.3.4 Reconocimiento biométrico por huella dactilar

La huella dactilar “*es la representación de la epidermis de un dedo, consistente en el patrón del intercalado de crestas y valles*” [8].

Las huellas dactilares se forman durante los primeros siete meses de gestación [9] y está demostrado empíricamente que no existen dos huellas iguales, incluso entre hermanos gemelos idénticos [10]. Es a principios del siglo XX cuando este tipo de reconocimiento se toma como válido y se convierte en una rutina, especialmente en ciencias forenses. Las bases de datos de criminología comienzan a incluir las huellas dactilares y se ven desbordadas ante la ingente cantidad de información. La división del FBI encargada de la identificación por huella dactilar, superaba en 1924 las 810.000 huellas dactilares; lo que provocó que la identificación manual pronto fuese inviable y las tecnologías encargadas del reconocimiento por huella experimenta un gran crecimiento [11].

Actualmente la captura de las huellas se realiza mediante dispositivos como el de la figura 4, que es un escáner óptico “Biometrika FX3000”. Este dispositivo permite obtener las crestas y los valles más representativos para proceder a la identificación.



Figura 4: Sensor óptico FX3000 [12]

2.3.5 Reconocimiento biométrico por geometría de la mano

El reconocimiento biométrico mediante la geometría de la mano está basado en un gran número de medidas que se realizan sobre las manos, como la forma y el tamaño de la palma, la longitud y el ancho de los dedos, las relaciones entre medidas, etc. Sin embargo, todos estos factores no parecen ser lo suficientemente exclusivos como para utilizar este sistema en grandes conjuntos de población [6].

Otro de los grandes inconvenientes que presentan estos dispositivos es que el tamaño de una mano es relativamente grande, por lo que sería necesario un terminal de captura también acorde a dicho tamaño por lo que este sistema no se podría incluir, por ejemplo, en un ordenador portátil. Por eso, una de las líneas de investigación en este ámbito es la del desarrollo del reconocimiento biométrico por geometría de la mano con cámaras digitales [13]. Hoy en día, también existen dispositivos que realizan el reconocimiento mediante la captura de tan sólo dos dedos, con un lector como el que se puede ver en la figura 5. Este dispositivo usa una cámara con sensor CCD para captar una imagen digital desde dos puntos de vista distintos, de forma que puede componerse una imagen en tres dimensiones [14].

Mediante estos sistemas basados en la geometría de la mano, se controla el acceso de todos los operarios a las plantas nucleares de Estados Unidos y en la Universidad de Georgia para los programas de comida de sus alumnos. En 1996 se usaron en los Juegos Olímpicos, para controlar el acceso a las villas olímpicas y se utiliza actualmente en el Aeropuerto Internacional de San Francisco. En Colombia, se utilizó un sistema de este tipo para la identificación de los votantes en las elecciones generales [15].



Figura 5: Terminal de captura y reconocimiento biométrico para dos dedos [14]

2.3.6 Reconocimiento biométrico por iris ocular

El reconocimiento biométrico del iris es un auténtico reto en el que están trabajando numerosas universidades y empresas privadas por el gran potencial que representa, ya que es un sistema muy fiable. El reconocimiento del iris se realiza mediante una cámara con la que se obtienen detalladas imágenes de las estructuras del iris. Éstas son convertidas en plantillas digitales que proporcionan una representación matemática del mismo. Dichas representaciones son únicas y unívocas de un individuo, siendo diferentes incluso en dos gemelos idénticos (como todas las características biométricas). Las lentes de contacto y las gafas afectan a este tipo de reconocimiento, por lo que los ojos deben estar despejados durante la captura de imágenes.

2.3.7 Otros tipos de reconocimiento biométrico

Son numerosos el resto de tipos de reconocimiento biométrico que existen:

- a) Patrón de tecleo: Está basado en la hipótesis de que cada persona teclea de una forma característica. No está contrastado que ésta técnica biométrica del comportamiento sea única de un individuo, pero sí lo suficientemente discriminatoria para permitir la identificación [16]. Ésta dinámica de discriminación, que se realiza de forma continuada, puede ser útil una vez que una persona, tras identificarse mediante otro sistema biométrico mucho más restrictivo, accede a un terminal de ordenador y está durante un periodo de tiempo suficiente tecleando.
- b) Voz: La voz es un tipo de reconocimiento biométrico que se forma con la combinación de características físicas y de comportamiento. Las características físicas de la voz varían con la edad y debido a enfermedades, mientras que las características de comportamiento pueden variar conforme al estado emocional, por ejemplo [17].
- c) Modo de caminar: La mayoría de algoritmos de reconocimiento de este tipo realizan cálculos sobre la silueta humana o los flujos ópticos asociados a un conjunto de puntos en movimiento extraídos dinámicamente del cuerpo humano para describir el modo de andar. Cuanto mayor sea el tiempo de medición, mayor ratio de éxito obtienen. Los sistemas biométricos basados en el modo de andar, o paso, son importantes y de obligada mención debido a la novedad que introducen respecto a los anteriores, que es la capacidad de realizar el reconocimiento biométrico a distancia. Esta cualidad lo hace altamente recomendado para escenarios de video vigilancia [18].
- d) Firma manuscrita: El modo de realizar la firma manuscrita es característico de cada persona. Ante la proliferación de dispositivos táctiles, el reconocimiento por firma manuscrita cobra especial relevancia.

2.4 El modelo HBSI

El HBSI (Human-Biometric Sensor Interaction), es un modelo que trata cada interacción del ser humano con el sensor como un evento; y cada evento a su vez es clasificado como “presentación correcta” o “presentación incorrecta” [19].

El HBSI toma las siguientes medidas: medidas biométricas (calidad de la muestra y rendimiento del sistema), las características biométricas del usuario (físicas y cognitivas) y la usabilidad (eficiencia, efectividad y satisfacción). Éstas medidas pueden ser usadas para evaluar conjuntamente la funcionalidad y el rendimiento del sistema. Podemos ver esta contextualización en la figura 6.

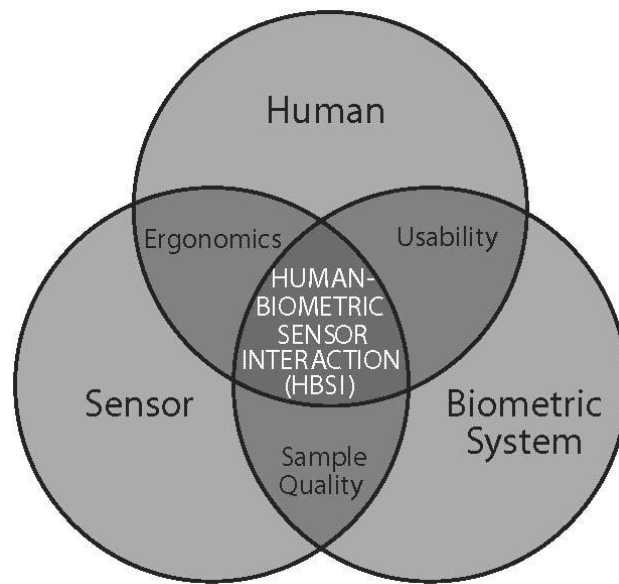


Figura 6: Modelo conceptual de HBSI [20]

El modelo HBSI es una propuesta de medidas (figura 7) que trata de abarcar todo el sistema biométrico.

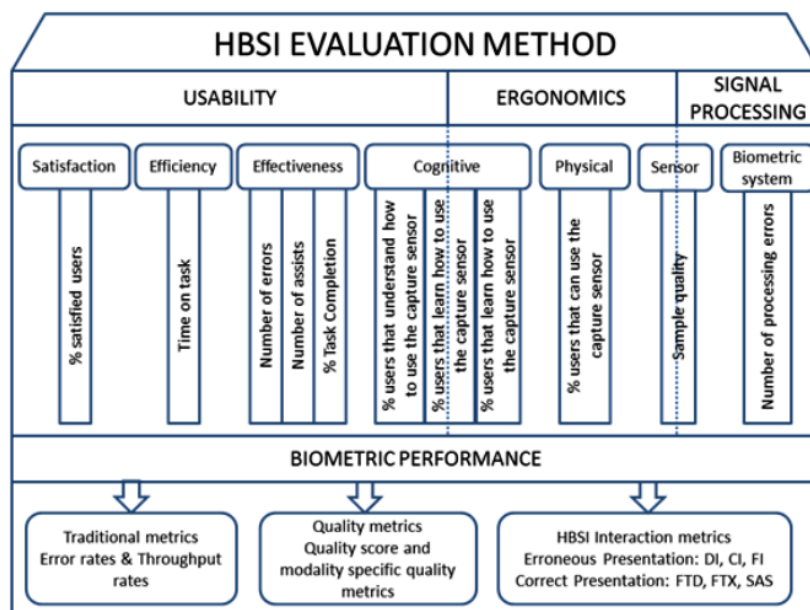


Figura 7: Método de evaluación del HBSI [21]

Las medidas a realizar en la parte de usabilidad son las medidas correspondientes a la satisfacción de los usuarios y su capacidad para aprender a utilizar el sensor de captura, así como de la eficiencia y efectividad del sistema. En cuanto a la ergonomía, se tiene en cuenta la capacidad del usuario para aprender a utilizar el sensor de captura, las capacidades físicas del usuario (si tiene algún problema físico que le impide realizar la evaluación correctamente) y la calidad de las muestras que aporta el sensor. Para

realizar las medidas del procesado de la señal, se tiene en cuenta el sistema biométrico, calculando el número de errores de procesado ocurridos, así como la calidad de las muestras.

En el marco del HBSI, el parámetro FTA puede ser dividido en mediciones más detalladas mejorando la precisión de las pruebas biométricas, pudiendo identificar los distintos errores dependiendo de cómo se han cometido: Debido al sistema, debido al usuario, debido a ambos o debido a un elemento externo. En la figura 8, se pueden observar estas divisiones, que son explicadas más adelante [19].

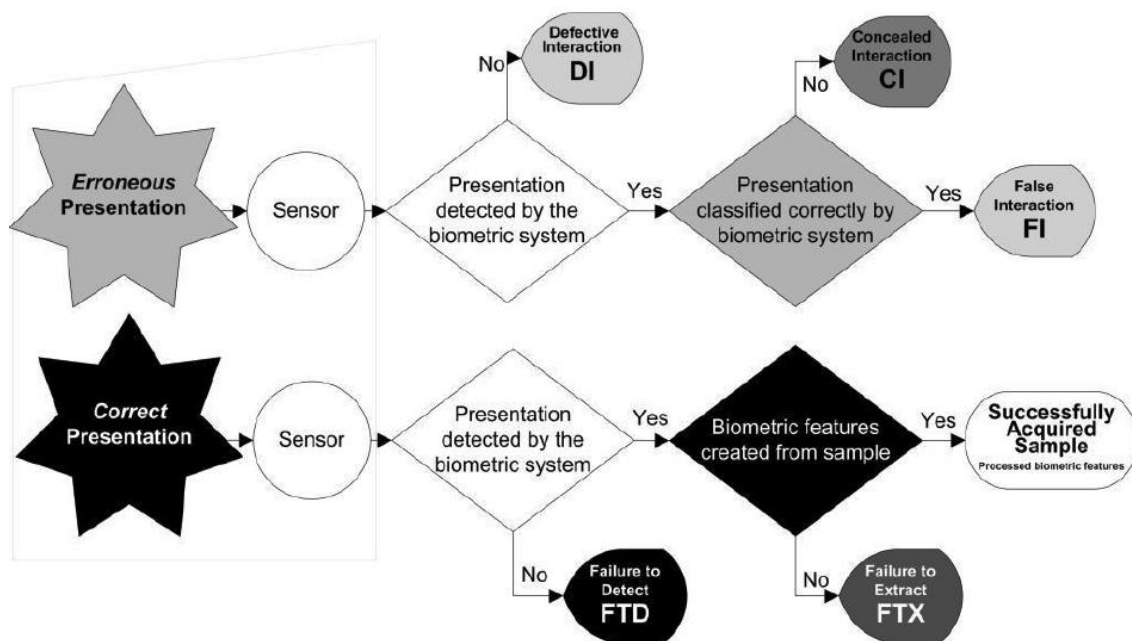


Figura 8: Estructura de las interacciones biométricas de HBSI [19]

a) Presentación errónea:

- i. Defective Interaction (DI): Es la interacción sucedida cuando ocurre presentación errónea y además el sistema no la detecta. Un ejemplo de esta situación se da cuando un usuario, en el caso de reconocimiento facial, no mira a la cámara. Por tanto, se produce una presentación errónea y el sistema acierta no detectando al sujeto ya que no presenta las características biométricas apropiadas.
- ii. Concealed Interaction (CI): En este caso, la presentación errónea es captada por el sistema, pero no es clasificada correctamente como un error. Esta medida muestra la proporción de las presentaciones que contienen características biométricas erróneas. El HBSI asimismo, divide este tipo de error en dos categorías: las provocadas por el usuario, y las provocadas por el sistema:

- Las CI de usuario se dan, por ejemplo, en el caso de utilizar otro dedo que no era el requerido en el reconocimiento por huella. El sistema recoge esa muestra, aunque la presentación del usuario ha sido incorrecta.
 - Las CI del sistema se dan, por ejemplo, en el caso de que en el reconocimiento facial, un destello de luz o una sombra invaliden la prueba, aunque el sistema recogerá las características biométricas y las dará como válidas.
- iii. False Interaction (FI): Es la proporción de interacciones con el sensor que el sistema detecta y clasifica correctamente como erróneas. Típicamente, el sistema avisará al usuario para que repita la captura. Esta medida muestra la efectividad del diseño del sensor y el número de errores de diferencia entre los usuarios con un entrenamiento previo y los que no están familiarizados con dicha tecnología.
- b) Presentación correcta:
- i. Failure To Detect (FTD): Representa la proporción de presentaciones correctas pero que por algún motivo no son detectadas por el sistema. Se pueden distinguir dos tipos de errores:
- FTD del sistema: Son aquellas en las que el sistema permanece en el mismo estado ya que no ha detectado ninguna interacción por parte del usuario.
 - FTD por factores externos: El sistema no detecta la presentación del usuario debido a algún factor de tipo externo. Por ejemplo, en el caso de la detección facial, si una fuente de luz incide directamente sobre el sensor, éste no será capaz de detectar al usuario.
- ii. Failure To Extract (FTX): Este fallo ocurre en el procesado de la señal entregada por el sensor tras haber capturado correctamente una presentación. Es la proporción de muestras de las que no es posible procesar o extraer las características biométricas.
- iii. Successfully Acquired Sample (SAS): Es el caso en que una presentación es correcta y es detectada por el sistema. Además, las características biométricas son también extraídas correctamente.

2.5 Reconocimiento biométrico por firma manuscrita

El reconocimiento biométrico por firma manuscrita es de las modalidades biométricas más aceptados socialmente, ya que la firma de una persona es aceptada como medio de reconocimiento de un individuo tanto en entornos legales como gubernamentales. La identificación por firma manuscrita está presente en varios sectores como son el sector legal, el sector médico o el sector de la banca, entre otros.

Las primeras aplicaciones de identificación por firma se dieron en el ámbito forense, el cual hoy en día está desarrollando también las firmas on-line [22].

Según el Informe del Mercado Biométrico e Industria de IBG entre 2006 y 2010, se observa que la modalidad de firma es el segundo rasgo de comportamiento más extendido en el mercado internacional tras el reconocimiento biométrico por voz, con una incursión del 1,7% en la cuota de mercado actual. No obstante, a pesar del rápido crecimiento que ésta modalidad está teniendo gracias a la incursión de dispositivos de pantalla táctil, sigue bastante lejos de otras modalidades biométricas de tipo estático, como la huella dactilar con el 43,6% de cuota de mercado internacional o el rostro, con el 19% de cuota [23].

La firma es una característica biométrica dinámica, es decir, el usuario ha de realizar la acción de firmar. Puede haber grandes variaciones entre las firmas de un mismo individuo, incluso sin haber pasado un largo periodo de tiempo entre ellas. También, la firma va variando de una forma mucho más sensible con el paso del tiempo, pudiendo llegar a ser completamente distinta al cabo de los años. Por el contrario, puede existir una gran similitud entre la firma de un individuo y la de un impostor si éste es lo suficientemente hábil. Estos dos casos pueden apreciarse en la figura 9. En ella podemos observar dichas dificultades: las diferencias entre las firmas de un mismo individuo y las similitudes con firmas falsificadas.

Existen dos sub-modalidades de reconocimiento por firma manuscrita. Offline o estática y online o dinámica. La modalidad offline se realiza mediante comparación entre imágenes estáticas de la firma. Por ejemplo, escaneando un documento y luego realizando la verificación, aprovechando los complejos patrones geométricos que hacen que la firma sea un método seguro de autenticación [1]. Las firmas en la modalidad online se adquieren mediante una tableta digital y un stylus. La verificación se realiza mediante mediciones de parámetros dinámicos e información espacial de la escritura. Es decir, no sólo por el grafismo, sino también mediante la velocidad, presión, etcétera. En ocasiones, si el dispositivo está capacitado para ello, también se recoge información sobre el ángulo [24].



Figura 9: Firmas originales (izq.) y falsificadas (dcha.) en un caso judicial célebre [25]

El reconocimiento biométrico por firma manuscrita consta de una serie de procesos [6]. El primero es el de la adquisición de los datos. Ésta se lleva a cabo mediante una tableta digital y un stylus, realizándose la captura de información. Posteriormente, se realiza de forma opcional el preprocesado, el cual consiste en un filtro de ruido (por ejemplo con ventanas gaussianas) y un remuestreo.

El segundo paso consiste en la extracción de las características comentadas antes: Coordenadas de posición (X e Y), trayectoria de los trazos, velocidad de los trazos, etcétera. Del umbral de sensibilidad del decisor dependerá la resistencia del sistema ante falsificaciones, aunque acarreará el inconveniente de aumentar los rechazos ante usuarios genuinos. Si el sistema es muy riguroso y, sin el 100% de coincidencia en la firma no acepta al usuario como válido, el sistema no aceptará a ningún impostor, pero rechazará en numerosas ocasiones a un usuario genuino. Por el contrario, si para el decisor es suficiente con que existan ligeras coincidencias entre firmas para establecer que el usuario es auténtico, el usuario genuino será rechazado en muy escasas ocasiones, pero aumenta la probabilidad de que los impostores sean aceptados.

3 Evaluación

Para llevar a cabo la adquisición de firmas, minimizando los factores externos que pueden alterar los resultados, se ha seguido un protocolo idéntico para todos los usuarios.

En este apartado se detalla cómo se ha realizado la captura de firmas, en qué posiciones se sitúa el usuario y qué instrumentos o material se ha utilizado.

3.1 Planteamiento de la evaluación

Se pretende crear un escenario de referencia con el cuál comparar los resultados del resto de escenarios, modificando los parámetros de tal forma que podamos aislar los que queramos estudiar y poder así valorar los resultados. Para ello se seguirán las siguientes premisas:

- No se aplicará ningún algoritmo durante la obtención de las firmas de los usuarios, ni de procesamiento de imagen, ni de creación de patrón, ni de verificación. El interés es obtener las coordenadas de los puntos que representan los trazos que el usuario ha realizado al hacer la rúbrica.
- Sólo se tomarán muestras de usuarios genuinos.
- Se definirán varios escenarios tipo además del escenario de referencia.
- Los escenarios tipo se reproducirán para cada usuario de forma que, aunque no se planteen siempre en el mismo lugar físico, las condiciones en las que se desarrolle la evaluación sean las mismas o equivalentes.
- El dispositivo a evaluar será el iPad.
- Las firmas serán realizadas con cuatro stylus conductivos de distintas características.

3.2 Escenarios de evaluación

Los escenarios que se van a considerar para la evaluación varían en la posición que debe adoptar el usuario para firmar, por lo que los elementos que se modificarán serán, además de los dispositivos móviles, los apoyos que tendrá el usuario (mobiliario). Las condiciones de luz, temperatura y humedad no deben influir en ésta evaluación, sin embargo los escenarios se dispondrán de forma que el usuario no se vea afectado por éstos parámetros, por lo tanto no serán agresivos (interiores e iluminación suficiente). Los escenarios serán los siguientes (Figura 10).



Figura 10: Escenarios en los que se realiza la evaluación

- Escenario de referencia o ESC1:

Usuario sentado en una silla, con el dispositivo apoyado en una mesa al lado de dicha silla. La altura del mobiliario irá en función de la comodidad del usuario dentro de un rango determinado. La colocación del dispositivo irá en función de la comodidad del usuario, siempre y cuando esté apoyado encima de la mesa.

- ESC2:

Usuario sentado en una silla, con el dispositivo sujeto en sus manos. En este caso, el usuario debe decidir si apoya el dispositivo en sus rodillas, con ellas cruzadas o no, o si lo sostiene en sus manos, según decida y le sea más cómodo y sencillo firmar.

- ESC 3:

Usuario de pie, con el dispositivo apoyado en un atril. El atril estará situado a una altura en la que el usuario pueda firmar sin adoptar una posición incómoda.

3.3 Equipos de recogida de datos

Los datos que se recogerán además de los biométricos, serán grabaciones en vídeo del proceso, fotos de los escenarios, impresiones de los usuarios y del evaluador por escrito y formularios que el usuario debe rellenar, también por escrito.

Necesitaremos para ello una cámara de vídeo, una cámara de fotos y un ordenador portátil para almacenar estos datos al mismo tiempo que se visualizan durante la evaluación.

En cuanto a las firmas de los usuarios, serán almacenadas directamente en el dispositivo. Estas firmas consistirán en ficheros de texto donde se recogerán las coordenadas y tiempo de los puntos de la pantalla donde el usuario firme.

3.4 Software

El software empleado para la recogida de los datos es una aplicación para la tableta iPad (figura 11). La interfaz es sencilla, de manera que contiene toda la información necesaria sin elementos que puedan contribuir a que el usuario pierda la concentración. Consta de varias partes bien diferenciadas:

- Información sobre el stylus con el que el usuario debe firmar en el escenario
- El identificador del usuario
- Información sobre el escenario en el que el usuario debe firmar
- La visita en la que se está firmando
- Un botón para borrar la firma actual
- Un botón para salvar la firma
- Un contador de firmas
- Un espacio de 5,4 pulgadas para firmar
- Un botón de configuración

La información que aparece en la parte superior (stylus, identificador de usuario, escenario y visita) es información para el operador, el cual debe estar atento para guiar al usuario e informarle en qué posición y con qué stylus ha de firmar. También sabrá cuándo el usuario ha finalizado la visita.

El espacio para la firma es de 5,4 pulgadas. Si el firmante se sale de los límites del cuadro blanco, la aplicación le avisa de que la firma no es válida. Por tanto, dicha firma deberá ser borrada y repetida.

El botón de borrar deberá ser pulsado por el usuario cuando crea que su firma no es válida, es decir, cuando crea que no se parece a la que comúnmente suele realizar sobre papel, cuando se ha equivocado, etc. Si el usuario pulsa dicho botón, el contador no aumenta, por lo que la firma deberá ser repetida.

El botón Salvar deberá ser pulsado por el usuario cuando opine que su firma es correcta y ésta pasará a ser salvada. Además, el contador aumentará en uno. Cuando llegue a 12 firmas, el programa avisará de que la visita con el stylus y el escenario actual ha finalizado.

El botón de configuración deberá ser manipulado solamente por el operador. En el menú que se desglosa, se establecerá el usuario que va a firmar eligiendo su número identificativo, el stylus con el que debe firmar y el escenario. Cuando el usuario finalice

las firmas, el operador modificará, en este menú, dichos datos para continuar la evaluación.

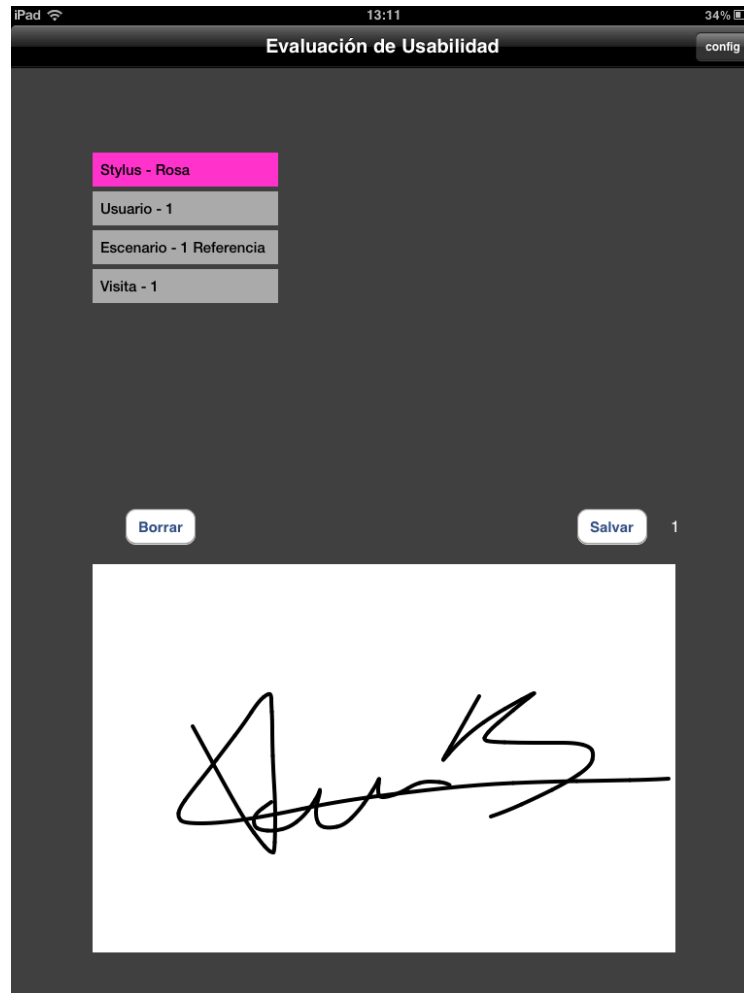


Figura 11: Pantalla principal de firma del usuario

3.5 Algoritmo

Existen varios algoritmos distintos para el reconocimiento de firmas, como son los modelos ocultos de Markov (HMM) [26], la cuantificación vectorial (VQ) [27], o el algoritmo utilizado para la ejecución de las pruebas de este trabajo, el algoritmo DTW (Dynamic Time Warping, Alineamiento Temporal Dinámico). El DTW es un algoritmo basado en la similitud de dos secuencias variantes en velocidad o tiempo. El algoritmo realiza un alineamiento elástico entre el patrón y la firma del usuario y obtiene las distancias entre las dos. Comparando dichas distancias, se decide si las firmas son pertenecientes a la misma persona o no [28].

3.6 Descripción del marco general de la evaluación

En este apartado se recogen los requisitos generales que se han establecido para el desarrollo de las pruebas. Dichos requisitos se mantendrán para todos los escenarios, excepto la situación del dispositivo y usuarios.

3.6.1 Entorno

El entorno ha de ser equivalente para todos los usuarios. En él se define cómo se van a colocar los dispositivos, los usuarios, los instrumentos de captura de vídeo, audio e imagen; y el operador en los diferentes escenarios. No se establece un lugar físico fijo para realizar la evaluación, por lo que el proceso puede ser llevado a cabo en diferentes lugares.

Sí será necesario establecer un rango de medidas para los diferentes elementos en los cuales se situará el usuario de forma que las condiciones en las que se realice la evaluación sean idénticas para todos.

- a) Condiciones ambientales: Las condiciones ambientales no son objeto de estudio en esta evaluación, por lo que no se medirán. Sin embargo, debido a que pueden llegar a influenciar al usuario si son extremas (por ejemplo, demasiado frío o demasiada humedad), se controlarán de forma que no sean agresivas para el usuario y que éste se encuentre cómodo en todo momento.
- b) Situación del dispositivo: La situación del dispositivo cambiará conforme se modifique el escenario. En el ESC1 se colocará encima de una mesa y será el escenario de referencia, en el ESC2 el usuario lo sostendrá en sus manos y en el ESC3 se colocará encima de un atril. La situación final no será fija, de forma que los usuarios lo puedan mover dentro de un rango determinado acorde a sus preferencias.

En el ESC1 (figura 12) el dispositivo se colocará en una mesa que esté a una altura entre 70 y 80 cm y el usuario se sentará en una silla cuya altura esté comprendida entre los 40 y los 55 cm. La posición del dispositivo en la mesa depende del usuario, siempre y cuando el dispositivo tenga apoyada su parte posterior en la mesa.

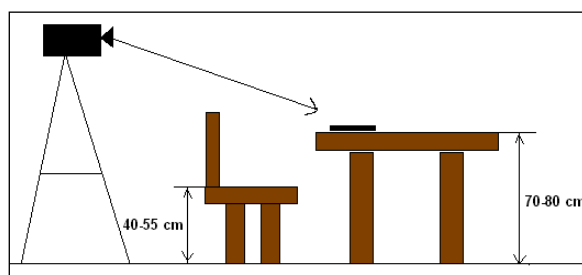


Figura 12: Escenario de referencia

En el ESC2, el dispositivo tendrá que ser sujetado por el usuario, de tal forma que la distribución es idéntica a la del ESC1 excepto porque no se utilizará la mesa.

En el ESC3 (figura 13) el dispositivo se colocará en un atril que debe estar colocado a una altura mayor de 100 cm en la que el usuario sea capaz de firmar de pie sin forzar la espalda. Al igual que en el ESC1, el usuario tendrá libertad para colocar el dispositivo según su preferencia siempre y cuando el dispositivo tenga apoyada completamente su parte trasera en el atril.

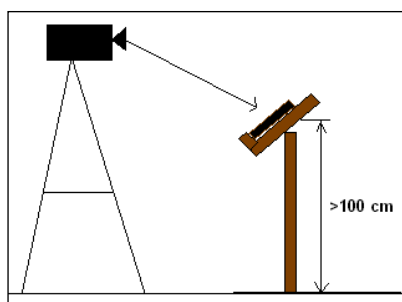


Figura 13: Escenario 3

- c) Situación de los elementos de captura de vídeo e imágenes: Los instrumentos de captura de vídeo e imágenes se utilizarán para grabar toda la evaluación de forma que se pueda realizar un estudio de usabilidad a posteriori atendiendo a las imágenes tomadas. La captura de imágenes se realizará antes de comenzar la evaluación, por lo que no interviene ningún dispositivo en el proceso. Sin embargo, la grabación de vídeo debe ser continua durante la evaluación, por lo que se debe situar una cámara de vídeo en cada escenario, tal y como aparece en la Figura 12 y en la Figura 13. Con objeto de obtener toda la información posible y por lo tanto el mejor ángulo de visión, la cámara se situará detrás del usuario en el lado opuesto a su lateralidad, es decir, para los usuarios diestros la cámara se situará a la izquierda de ellos, en concreto a unos 45° tanto en su eje horizontal, como en su eje vertical, manteniendo una distancia que no perturbe al usuario. Para los usuarios zurdos, la cámara se colocará en su lado derecho con las mismas condiciones de inclinación. Podemos ver un ejemplo en la Figura 14.

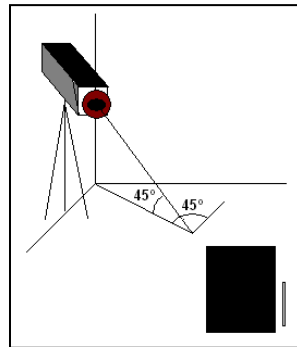


Figura 14: Situación de la cámara de vídeo en los escenarios

- d) Situación de las personas que interactúan con el sistema: La situación de las personas que interactúan con el sistema depende de su función dentro del mismo así como de los escenarios en los que se encuentren. Existen tres roles dentro de la evaluación, que serán los usuarios, el operador y el guía. Estos dos últimos roles serán llevados a cabo por la misma persona.

El operador de la evaluación será el encargado de grabar en vídeo el proceso. Asimismo debe tomar notas de los incidentes de la evaluación y de los aspectos que puedan influir en la usabilidad del sistema. Su posición no debe influir en el usuario, pero a la vez tiene que controlar todo lo que ocurra en la evaluación, por lo que se debe colocar al lado de la cámara.

Los usuarios se deben colocar en un lugar diferente acorde con el escenario en el que se encuentren. De esta forma, en el ESC1 se deben sentar en la silla y firmar en el dispositivo situado encima de la mesa. En el ESC2 se deben sentar en la silla y firmar en el dispositivo que estará en sus manos. En el ESC3 deberán colocarse de pie junto al atril y firmar en el dispositivo que se encuentre en el mismo. Cumpliendo éstas condiciones, el usuario puede firmar de la forma en la que se encuentre más cómodo.

El guía de la evaluación explicará el proceso al usuario antes de empezar y le ayudará durante la evaluación únicamente cuando éste lo requiera o cuando se esté produciendo un error sistemático (firmar en el aire, no borrar la firma si ha habido un error, etc.). Por lo tanto, si el usuario ha comprendido perfectamente su función y no está incurriendo en ningún error, el guía no debe participar en ningún momento en la evaluación.

3.6.2 Usuarios

Los usuarios que realicen la evaluación deben entrar en el rango de edad de usuarios que realmente utilicen este tipo de sistemas, de esta forma su edad debe estar comprendida entre los 18 y los 65 años en su mayor parte, aunque también se procurará una parte representativa de mayores de 65 años. Deben ser de ambos sexos. El número de usuarios que realicen la evaluación debe ser significativo y al mismo tiempo no debe ser excesivo (de otro modo la evaluación puede extenderse más de lo debido). Por lo tanto, el número deberá estar por encima de 20 y por debajo de 50. Los usuarios no

realizarán ningún tipo de entrenamiento previo con objeto de conocer el número de intentos que necesitan para proporcionar una firma con la que estén conformes.

La información que se va a proporcionar a los usuarios sobre la prueba que realizarán se adjunta en el Anexo A e incluye el siguiente contenido:

- a) Información general del proceso de evaluación: Se va a ofrecer a los usuarios una idea general de la evaluación, qué objetivos se pretenden conseguir y cuál va a ser la participación del usuario en el proceso de evaluación.
- b) Implicaciones legales: Se les explicará a los usuarios el tratamiento que se va a dar tanto a sus datos personales como a sus datos biométricos. También se les mostrará el formulario de aceptación que tendrán que rellenar y firmar para su intervención dentro del proceso de evaluación.
- c) Número de visitas y las condiciones en las que se van a desarrollar: Se informará a los usuarios sobre las fechas y la duración de las visitas, con vista a que en el momento de aceptar participar en la evaluación sean conscientes de su duración, de forma que se eviten los casos en los que el usuario comienza la prueba pero no la finaliza.

Una vez los usuarios hayan aceptado tomar parte en la evaluación y hayan firmado el formulario correspondiente, se les explicará de forma detallada todo el proceso de evaluación y las tareas que van a tener que realizar en cada una de las fases.

En una primera introducción se les mostrará el dispositivo a evaluar y se les hablará de la modalidad biométrica que utilizan y en qué se basa. Luego se pasará a describir las fases de la evaluación, cómo se van a desarrollar y resolviendo cualquier pregunta que pudieran tener en este primer momento. Durante toda la evaluación, el operario estará pendiente de la evolución del usuario, contestando a cualquier duda que le surja sobre el sistema y observando el proceso con el fin de evitar errores sistemáticos. No intervendrá en el proceso a no ser que se suceda alguno de los casos anteriores con el fin de evitar influenciar al usuario. Es importante que después de cada firma el usuario complete un proceso muy sencillo de deshabitación con el fin de no producir en cada intento una firma idéntica. Esto se realizará haciendo que el usuario pulse un botón que estará incluido en el programa que tendrá el dispositivo móvil. De esta forma, cuando el usuario termine una firma, tendrá que pulsar un botón “salvar” para comenzar con la firma siguiente.

Con el fin de poder analizar los datos correctamente, es necesario llevar un orden en la obtención de las muestras y tener a su vez controlados los datos de los usuarios en todo momento. Para ello, dichos datos se almacenarán previamente y se le asignará a cada usuario un número identificativo.

Los datos personales que se tendrán que almacenar por cada uno de los usuarios serán los siguientes:

- Número de DNI
- Nombre y apellidos
- Sexo
- Edad
- Nivel de estudios
- Lateralidad
- Falta de alguna mano o dedo y, si es el caso, de cuál se trata
- Cualquier otra característica que pueda ser relevante para el proceso de evaluación

Toda esta información será recogida durante el reclutamiento por un operador. Solamente la información necesaria para el análisis de los datos y el proceso de identificación será asociada con las firmas. Dicha asociación se realizará por medio del identificador de usuario.

3.6.3 Visitas

Los usuarios acudirán a realizar la evaluación en dos sesiones que se denominarán visitas, las cuales se sucederán en días diferentes. En concreto, debe transcurrir al menos una semana entre las visitas y se procurará, por norma general, que no se sucedan en más de dos semanas.

a) Primera visita:

Las tareas que deben llevar a cabo los usuarios durante la primera visita son:

- Serán informados sobre el proceso de evaluación (Anexo A). También se les proporcionará un formulario de aceptación para que firmen. Sin la firma de dicho formulario los usuarios no podrán realizar la evaluación.
- A continuación se les explicará más detalladamente en qué consiste el proceso de evaluación y las tareas que van a realizar.
- Después el usuario comenzará a firmar en el dispositivo, introduciendo previamente el operador su identificador. En esta primera visita el usuario firmará 36 veces en cada uno de los 3 escenarios, (debe firmar 12 veces con 3 stylus diferentes). Se realizan 36 firmas ya que es un número de firmas lo suficientemente alto como para obtener resultados fiables del algoritmo, y no muy alto para cansar al usuario. El proceso será el mismo en cada escenario.

b) Segunda visita:

En la segunda visita, los usuarios realizarán las siguientes tareas:

- Se comprobará si el usuario recuerda cómo utilizar el dispositivo.

- Después el usuario comenzará a firmar, introduciendo previamente el operario su identificador. En esta segunda visita el usuario firmará el mismo número de veces que en la primera.

c) Tercera visita:

En la tercera visita, las tareas serán las siguientes:

- Se comprobará si el usuario recuerda cómo utilizar el dispositivo.
- Después el usuario comenzará a firmar, introduciendo previamente el operario su identificador. En esta tercera visita el usuario firmará el mismo número de veces que en la primera.
- Finalmente, se le entregará al usuario un formulario de satisfacción (Anexo B) en el que se le harán unas preguntas sobre la usabilidad del sistema.

3.6.4 Niveles de esfuerzo y políticas de decisión

Con el fin de obtener unos resultados concluyentes y objetivos, se han definido unos niveles de esfuerzo y unas políticas de decisión para todos los procesos.

La captura de firmas se hará atendiendo a los siguientes requisitos:

- Se tomarán 12 firmas de cada uno de los stylus sobre el dispositivo, para cada escenario y en cada visita. Siendo 3 los escenarios y 3 las visitas, el cómputo de firmas será de 324 por cada usuario.
- El usuario debe completar 324 firmas correctas, si hubiese algún error en alguna de ellas, el usuario debe volver a realizar dicha firma.
- Solamente se completará el proceso de reclutamiento.

Debido a que en la evaluación se incluyen varios escenarios y styluses, se debe establecer un orden lógico para que el usuario realice la evaluación. Es importante tener en cuenta que es necesario modificar el orden en el cual el usuario completa los escenarios, debido a que la habituación puede producir cierta desvirtuación en los datos. Por ello, el orden en el que el usuario complete los escenarios será aleatorio.

Los fallos que pueden sucederse durante el proceso pueden ser de varios tipos. Los que son de mayor interés para la evaluación tienen relación con la adquisición de la firma del usuario en el dispositivo móvil. Por otra parte, también se pueden producir errores generales, es decir, que afectan a todo el proceso de la evaluación, como son por ejemplo:

- a) Fallo en el dispositivo biométrico. Si el dispositivo deja de funcionar o tiene un comportamiento extraño, se detendrá momentáneamente la evaluación hasta que el error se haya arreglado. Se intentará reiniciar el dispositivo o la

- aplicación. Si el error se soluciona se continuará con el proceso. Si el error persiste se detendrá totalmente la toma de datos hasta que se solucione.
- b) Fallo en los instrumentos de grabación. Si hay algún error en los instrumentos de grabación de video se detendrá la evaluación hasta que se solucione.
 - c) Fallo en la aplicación del operador. Si se produce algún fallo en la aplicación del operador y no se pueden registrar los datos de las pruebas, se suspenderá la evaluación hasta que el error se haya solucionado. En este caso, el operador deberá revisar los últimos datos que se han tomado y comprobar que han quedado correctamente registrados. En caso contrario, el usuario deberá repetir los procesos cuyos datos hayan resultado dañados.
 - d) Fallo en el resto de material. Si resulta dañado algún otro instrumento necesario para la evaluación, como atril, trípode, stylus, etcétera, se procederá a su arreglo o a su sustitución. En el caso de los styluses, si no es posible su sustitución o reparación, se eliminará de las futuras firmas y no se tendrá en cuenta en los resultados finales de la evaluación.

Los fallos en la adquisición de la firma serán catalogados dentro del modelo HBSI, concretamente en la división del FTA. Este tipo de fallos, se dividen dentro del modelo en diversos errores, ya que se considera que no todos los errores producidos en el proceso de presentar las características biométricas al sistema (en este caso la firma) son iguales. Dichos errores pueden ocurrir habiendo presentado el usuario la firma correcta o incorrectamente:

- a) Firma presentada incorrectamente:
 - DI (Defective Interactions): Este tipo de error ocurre cuando la firma se considera incorrecta y no se detecta ningún dato de la interacción del usuario con el dispositivo. Un caso de DI puede ser que el usuario ejerza poca presión sobre el dispositivo al firmar.
 - CI (Concealed Interactions): Son las debidas a que el usuario firma de forma incorrecta y el sistema no lo detecta. Un ejemplo sería que el usuario, aunque no estuviera satisfecho con la firma realizada, continuase firmando. Este error es detectado mediante la supervisión del operador y consultando la grabación de vídeo. En nuestro caso, coincide con la tasa de error de efectividad del sistema.
 - FI (False Interactions): Son debidas a que el usuario presenta una firma incorrecta, el sistema lo detecta y la reconoce como incorrecta (en este caso, es el usuario el que reconoce el error). Este caso se da, por ejemplo, cuando hay cierto retardo en el dispositivo para mostrar los trazos que el usuario ha realizado y el usuario los vuelve a realizar de nuevo, provocando un error. Del número de las FI durante la evaluación, se obtiene el error de eficiencia del sistema.



b) Firma presentada correctamente:

- FTD (Failure to Detect): Ocurre cuando el usuario presenta una firma correctamente, pero el sistema no la detecta. Esto se puede deber, por ejemplo, a la latencia o a algún error en el software.
- FTP (Failure to Process): Se debe a que, habiendo presentado el usuario una firma correcta y habiéndola recogido el sistema también como correcta, se guarde de una forma que no es exactamente la que el usuario proporcionó (por errores de latencia, por ejemplo).

3.6.5 Tiempos del proceso

Se medirá el tiempo que cada usuario emplea en cada firma. Dicho parámetro será medido automáticamente por la aplicación ejecutada en el dispositivo.

4 Ejecución de las pruebas

En este capítulo se mostrará cómo se han llevado a cabo las pruebas. En primer lugar se detallará el perfil de los usuarios que las realizaron, los escenarios en los que firmaron, los styluses que utilizaron y, finalmente, cuáles han sido las tareas a cumplir en cada visita.

4.1. Análisis de las características de los usuarios

Toda la información acerca de los usuarios fue recogida en el formulario de aceptación que se les facilitó en la primera visita, donde también eran informados sobre todo el proceso. Además, al final de la tercera visita, los usuarios rellenaron un formulario de satisfacción, el cual contenía preguntas sobre:

- Preferencias de escenarios y styluses
- Puntuación entre 0 y 5 sobre la comodidad, el tiempo empleado, dificultad, nivel de intrusión y satisfacción global
- Conocimiento y familiaridad del usuario con los sistemas biométricos y experiencia previa
- Enfermedades que puedan interferir en la firma (como por ejemplo Parkinson o Esclerosis)
- Edad, género, lateralidad y nivel de estudios
- Instrucciones recibidas durante la evaluación
- Posibilidad de utilizar el método en el futuro

En la evaluación participaron 25 usuarios, de los cuales se tuvo en cuenta 21. El descarte de los otros 4 usuarios fue debido a diversos problemas que se detallarán más adelante. 13 de ellos eran hombres y 8 mujeres.

En cuanto a la distribución de la edad, 16 participantes tenían una edad comprendida entre los 18 y 30 años, 3 participantes entre los 30 y los 50 años y los otros 2 eran mayores de 50 años. No hubo ningún tipo de condición para poder realizar la evaluación, excepto ser mayor de 16 años, ya que la firma en niños no es estable [29]. Las tres cuartas partes de los voluntarios tenían una edad comprendida entre 18 y 30 años, rango en el cual el uso y conocimiento de la tecnología es mayor.

De los participantes, uno de ellos tiene sólo estudios elementales, 13 han finalizado estudios secundarios y 7 poseen un título universitario. En cuanto a la lateralidad, 3 de ellos son zurdos. En cuanto a la experiencia con el tipo de dispositivo que se utilizó en la evaluación, el 42% de los usuarios habían utilizado previamente tabletas digitales para firmar (por ejemplo, en correos, en el banco o el supermercado).

Ninguno de los participantes presentaba ningún tipo de discapacidad que le supusiese alguna dificultad a la hora de firmar. Tres voluntarios afirmaban no estar familiarizados con la tecnología (los usuarios mayores de 50 años).

4.2. Análisis de los escenarios

Los escenarios fueron escogidos con el objetivo de representar las situaciones más comunes en las que los usuarios suelen firmar. En el escenario 1 el usuario firma sentado en una silla con el dispositivo apoyado en la mesa (como se puede observar en la figura 15). Debido a ser el escenario más común para firmar fue tomado como referencia.



Figura 15: Usuario firmando en el escenario 1 (referencia)

En el escenario 2, el usuario firmó sentado con el dispositivo en sus manos y en el escenario 3, de pie apoyado en un atril; como se puede ver en las figuras 16 y 17 respectivamente.



Figura 16: Usuario firmando en el escenario 2



Figura 17: Usuario firmando en el escenario 3

El orden de los escenarios se estableció de forma aleatoria, pero se mantuvo el mismo para todos los voluntarios. El motivo de hacer el proceso aleatorio es el de minimizar el efecto del orden en los resultados.

En las figuras 15, 16 y 17 se observa a tres voluntarios distintos realizando la evaluación en tres lugares físicos distintos y en los tres escenarios establecidos; pero en los tres casos las condiciones en las que se realizó la evaluación, y que podrían influir en los resultados, son las mismas. Los usuarios podían modificar la altura de los elementos de los escenarios en función de la comodidad, así como variar la pendiente de apoyo del atril.

4.3. Análisis de los styluses

Los styluses utilizados fueron tres, a los que se les asignó un código de color para identificarlos. Son los presentes en la figura 19.



Figura 18: Styluses utilizados en la evaluación

El stylus rosa mide 10,7 cm, está hecho de plástico y su diámetro es de 6 mm. La punta del stylus es plana, deformable y está hecha de esponja. El stylus blanco mide 11 cm de longitud y 8 mm de diámetro. Su punta es de goma, redondeada y deformable. El stylus negro está hecho de metal, mide 12,6 cm de longitud y tiene un diámetro de 8 mm. Su punta es de plástico duro y metal, con la característica de que su posición varía de forma que esté siempre plana a la pantalla cuando están en contacto. La punta de este stylus no es deformable.

El orden en el que los usuarios tenían que utilizar los styluses en cada visita, también fue determinado de manera aleatoria (como se observa en la figura 20), para evitar que el orden influya en los resultados. En la misma visita, el orden de los stylus para los tres escenarios era el mismo.

4.4. Análisis de la visita

En la figura 21 se incluye un diagrama de flujo con todas las tareas que se deben completar durante la primera visita y que será análoga para las otras dos visitas.

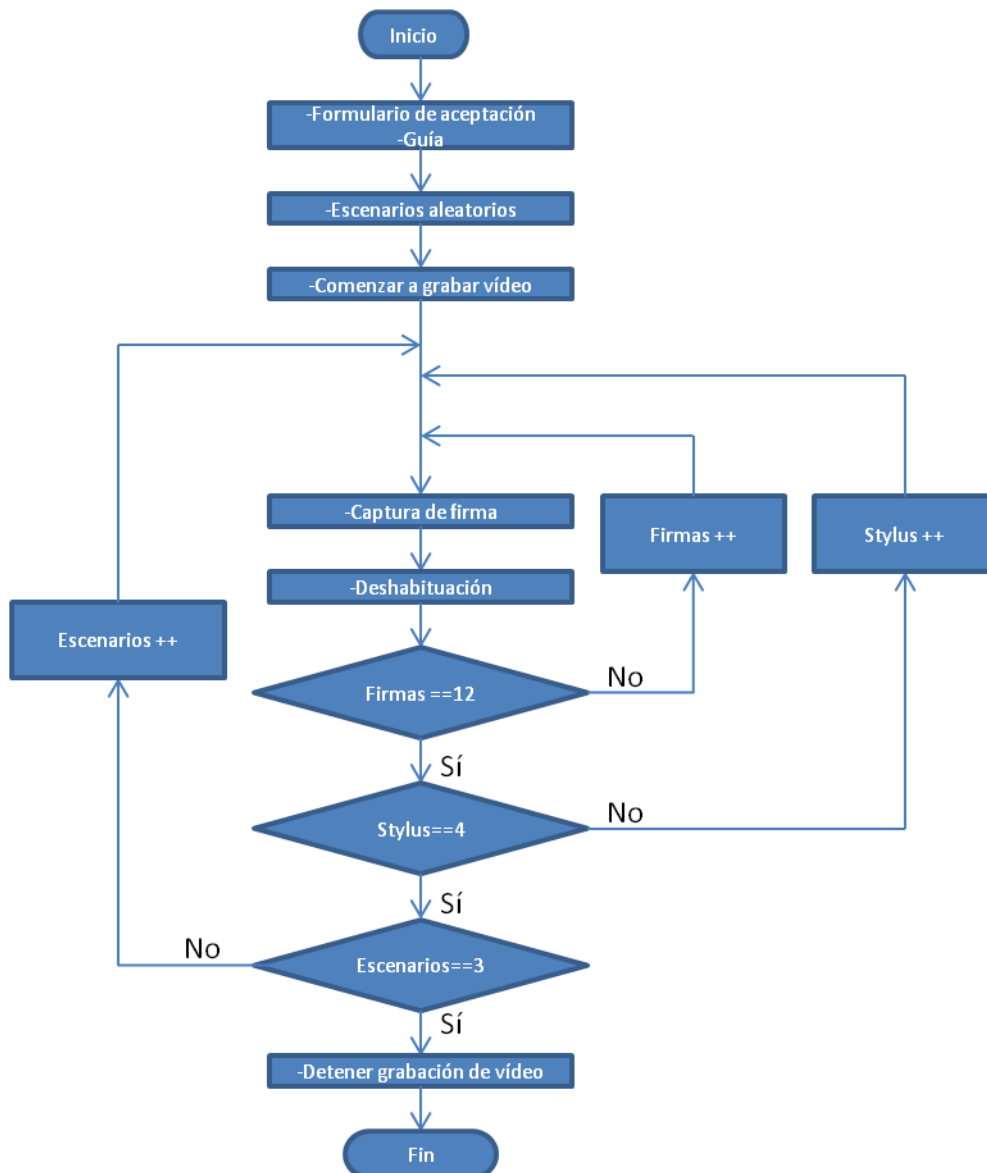


Figura 19: Proceso de la primera visita

El orden en el que el usuario cambia al siguiente stylus y al siguiente escenario fue para todos los usuarios el mismo y es el que se indica en la tabla 1.

Visita 1		Visita 2		Visita 3	
ESC 1	Rosa	ESC 3	Negro	ESC 2	Blanco
	Blanco		Rosa		Rosa
	Negro		Blanco		Negro
ESC 2	Rosa	ESC 2	Negro	ESC 3	Blanco
	Blanco		Rosa		Rosa
	Negro		Blanco		Negro
ESC 3	Rosa	ESC 1	Negro	ESC 1	Blanco
	Blanco		Rosa		Rosa
	Negro		Blanco		Negro

Tabla 1: Orden de styluses y escenarios.

4.5. Experimentos

Una vez que ya ha sido obtenida una base de datos de firmas manuscritas de usuarios bajo el entorno controlado de la evaluación redactada anteriormente, se procede al estudio de las mismas siguiendo el modelo propuesto de HBSI, es decir, el estudio de la usabilidad y el rendimiento. El estudio de la usabilidad se realiza mediante los parámetros de efectividad, eficiencia y satisfacción.

La efectividad se define como el cumplimiento de las tareas por parte del usuario y se calcula mediante el FTA [30], es decir, el número de firmas erróneas, pero que han sido aceptadas como válidas, dividido por el total de firmas. En la evaluación, una firma es considerada errónea en los siguientes casos:

- El usuario ha trazado la firma o parte de ella fuera de los límites
- El usuario ha repetido un trazo de la firma
- Parte de la firma no ha sido registrada al no entrar en contacto el stylus con la pantalla (firma en el aire)
- El usuario ha presionado el botón de aceptar accidentalmente, no siendo la firma válida
- El usuario añade trazos a la firma, tocando la pantalla con la mano o con algún dedo

El FTA influye en la satisfacción del usuario, debido a que las firmas erróneas implican que el procedimiento va a llevar más tiempo, lo cual puede ser frustrante.

La eficiencia es el cumplimiento de las tareas a tiempo [30]. Esta tasa se calcula dividiendo las firmas que el usuario ha borrado entre el total de las realizadas. Asimismo, también fue medido el tiempo medio que tardó el usuario en completar cada una de las firmas en los distintos escenarios y en las distintas visitas. Este ratio tiene influencia sobre la satisfacción y el rendimiento: un gran número de firmas erróneas

frustra al usuario y repercute directamente tanto en la satisfacción como en la calidad de las siguientes firmas, lo que influye en el rendimiento del algoritmo.

La satisfacción es la experiencia del usuario en la evaluación [30]. Esta medida nos la proporcionan los formularios de satisfacción que rellenaron los voluntarios, así como las notas y el video recogidos por el operador. Este parámetro, además, se ve influenciado por la eficiencia y la efectividad.

Por otro lado, el estudio del rendimiento se realiza para cada escenario y stylus, con la finalidad de relacionar este parámetro con las preferencias de los usuarios, de forma que se pueda observar si los escenarios y styluses predilectos de los usuarios son los que les proporcionan también una menor tasa de error. Además, con esta medida es posible medir los efectos de la habituación y del orden de los escenarios y los styluses. El rendimiento se calcula a través de la FAR y la FRR. Con estas dos tasas se obtiene la curva ROC y el EER. Para la obtención de las tasas de efectividad y eficiencia, con el fin de conocer la usabilidad del sistema, el operador debe anotar cada vez que una firma es errónea pero el usuario pulsa el botón de aceptar. También debe anotar cada vez que el usuario pulsa el botón de borrar, así como el motivo, para extraer las DI, CI y FI del modelo HBSI. Para la medida de la satisfacción, se utilizan los formularios rellenados por los usuarios

El proceso para el cálculo de la FAR y la FRR es el siguiente: cada vez que el usuario pulsa el botón aceptar al finalizar su firma, se genera un archivo en el que se guarda cada punto de la firma (sus coordenadas x e y) y el tiempo en cada punto. Este archivo se almacena según la norma ISO/IEC 19794-7, la cual especifica el formato de almacenamiento de datos para garantizar la interoperabilidad entre los diferentes sistemas biométricos [31]. Todas las firmas, en dicho formato, pasan a formar parte de una base de datos.

Así, el usuario 1 en el escenario 1 con el stylus 1, contribuirá a su base de datos con esas 36 firmas (12 firmas con cada stylus por 3 visitas); y así sucesivamente para cada usuario y para cada escenario y stylus. Se han realizado dos tipos de prueba: En la primera, se toman 3 firmas para el patrón simulando una situación real en la que el reclutamiento se lleva a cabo con las primeras firmas del usuario. Para la segunda prueba, las tres firmas para el patrón se toman aleatoriamente para evitar que un stylus o un escenario, se vean perjudicados por el factor del orden.

Las 33 firmas restantes se comparan con el patrón, variando el umbral de decisión. Un valor de 0, será aquel en el cual no se produce ningún rechazo y el umbral máximo será aquel con un valor para el cual todas las comparaciones son rechazadas. Este cálculo proporciona el FRR, cuya comparación respecto del valor de la sensibilidad producirá una curva creciente. Para el cálculo del FAR, al no haber impostores en la evaluación, se tomarán como firmas impostoras las firmas del resto de usuarios. Es

decir, con las firmas patrón del usuario 1, se compararán las 36 firmas (en ese mismo escenario y con ese mismo stylus) del usuario 2, del usuario 3, y así sucesivamente. Al igual que antes, se establece un umbral de decisión que varía de 0 al valor máximo, de forma que en el valor 0, todas las firmas serán aceptadas y para el valor más alto, ninguna de las firmas será aceptada. Este cálculo del FAR respecto de la sensibilidad del umbral, producirá una curva decreciente. El punto donde ambas curvas se corten, nos proporcionará el EER, como se aprecia en la figura 22.

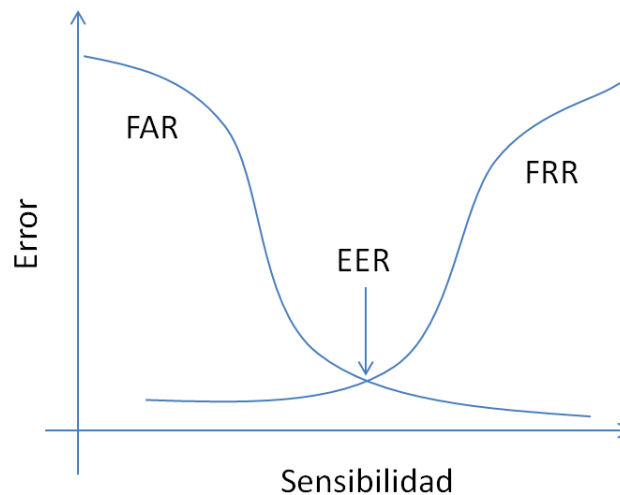


Figura 20: FAR, FRR y EER

4.6. Problemas durante el desarrollo de la evaluación

Los problemas que aparecieron en la evaluación fueron, en su gran mayoría, los esperados. En ocasiones, los usuarios tuvieron que borrar una serie de firmas sistemáticamente, debido a que opinaban que su firma en el dispositivo no guardaba gran parecido con su firma en papel. Esto pudo ser debido al cansancio, por lo que se procedió a detener la evaluación durante unos instantes para que el usuario descansase pudiendo continuar la evaluación sin mayor problema.

Otro problema, fue la aparición ocasional de factores que podían afectar a la concentración del voluntario, como por ejemplo la entrada de alguna persona en la sala o llamadas de teléfono. En este caso, se detuvo la evaluación hasta que en la sala desapareciese la fuente de distracción.

A pesar de que los resultados de la evaluación están tomados sobre 21 usuarios, en realidad los participantes en la evaluación fueron 25. De los cuatro restantes, por causas ajenas dos usuarios no pudieron completar la tercera visita a tiempo, por lo que se desecharon sus firmas. Las firmas de los otros dos voluntarios fueron desechadas debido a que la evaluación no se hizo correctamente y algunos escenarios no tenían todas las firmas necesarias.



Por último, la evaluación comenzó con cuatro stylus diferentes. Sin embargo, en la mitad de la segunda visita, uno de los stylus se rompió sin poder arreglarse ni conseguir otro a tiempo, por lo que las firmas de todos los usuarios hasta el momento, realizadas con dicho stylus, fueron desechadas.

5 Resultados

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos como consecuencia de la evaluación y los experimentos realizados, siguiendo el modelo HBSI. No está contemplado todo el modelo en esta evaluación: la calidad de la firma no está representada debido a que no se ha aplicado ningún sistema que discrimine las firmas por su calidad (no hay forma de establecer si una firma tiene la suficiente calidad o no).

5.1. Resultados de la usabilidad

Respecto a los resultados de la usabilidad, comenzaremos por los relativos a la efectividad, después los de eficiencia y por último, satisfacción.

5.1.1. Efectividad

Como se observa en la figura 23, en la primera sesión y en el primer escenario, obtenemos un nivel mucho mayor de error comparado con los otros dos escenarios en la misma sesión. También se observa que los niveles de eficiencia, a medida que avanza la evaluación, se estabilizan.

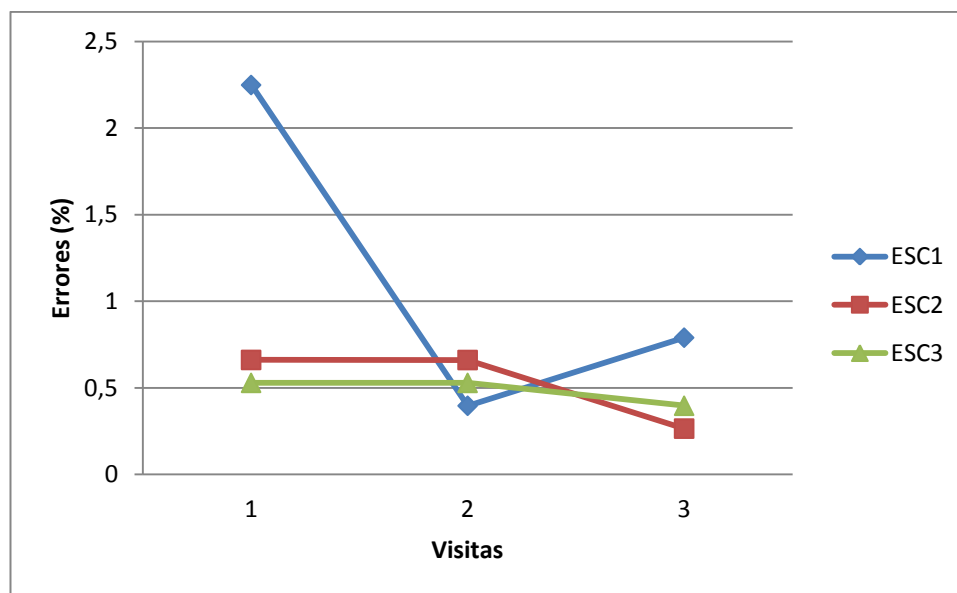


Figura 21: Ratio de efectividad en los escenarios para cada visita

5.1.2. Eficiencia

En primer lugar, se obtiene el número de firmas borradas dividido por el total. En la figura 24, el primer escenario y en la primera sesión, el error de eficiencia es considerablemente superior respecto a los otros dos escenarios en la misma sesión. También observamos que a medida que avanza la evaluación la tasa de la eficiencia mejora y se estabiliza.

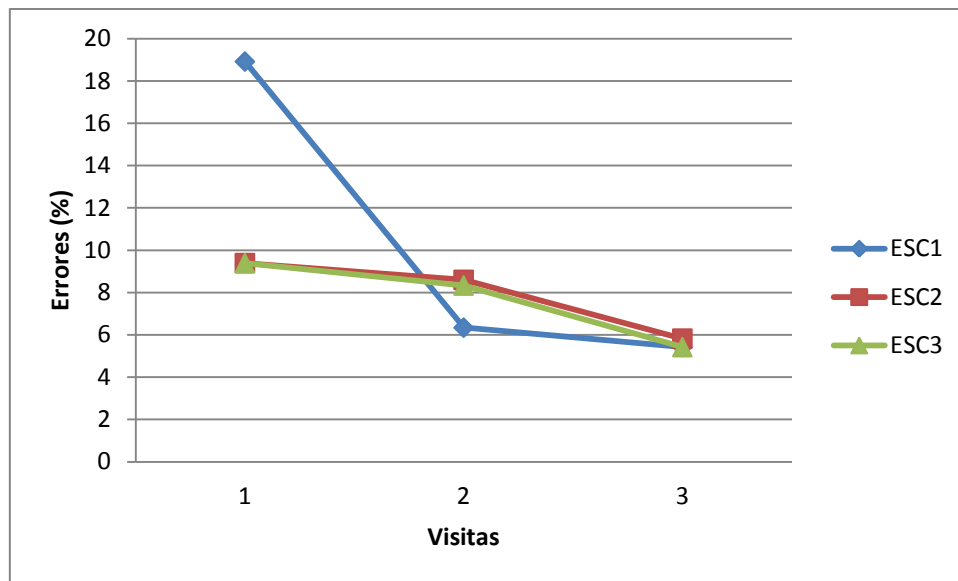


Figura 22: Error de eficiencia en los escenarios para cada visita

En la tabla 2, podemos observar toda la información relativa a los tiempos, concretamente la media del tiempo que tardaron los usuarios en cada visita, en completar cada firma con cada uno de los styluses y en cada uno de los escenarios.

Tiempo medio por stylus en escenario (milisegundos)				
	Styluses	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3
S01	Blanco	3988	3929	3810
	Negro	3777	3670	3490
	Rosa	4188	3739	3575
S02	Blanco	3796	3959	3782
	Negro	3738	3743	3582
	Rosa	3842	3869	3710
S03	Blanco	3776	3972	3794
	Negro	3608	3885	3588
	Rosa	3817	3979	3727

Tabla 2: Tiempo medio por stylus en cada escenario por sesión

A continuación, se muestran por separado el tiempo empleado por escenario y el tiempo empleado por stylus, ya que son los tiempos que más información proporcionan sobre la eficiencia del sistema. En la figura 25, podemos observar el tiempo que emplearon de media los usuarios por escenario. En el escenario 1, dicho tiempo es continuamente descendente a medida que avanzan las sesiones. Sin embargo, para los escenarios 2 y 3, los tiempos aumentan en la sesión 2 para volver a descender en la tercera.

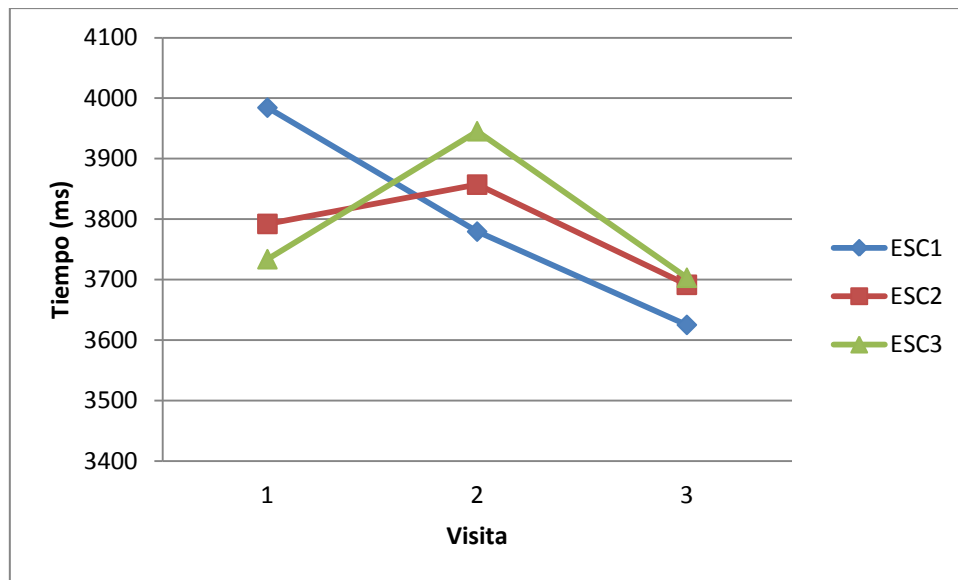


Figura 23: Tiempo medio por escenario

En cuanto al tiempo medio empleado por cada usuario con cada stylus para las firmas, se muestra en la figura 26. Además, se observa que con el stylus rosa el tiempo descende a medida que avanzan las sesiones, mientras que con el negro y el blanco, en la segunda visita aumentan.

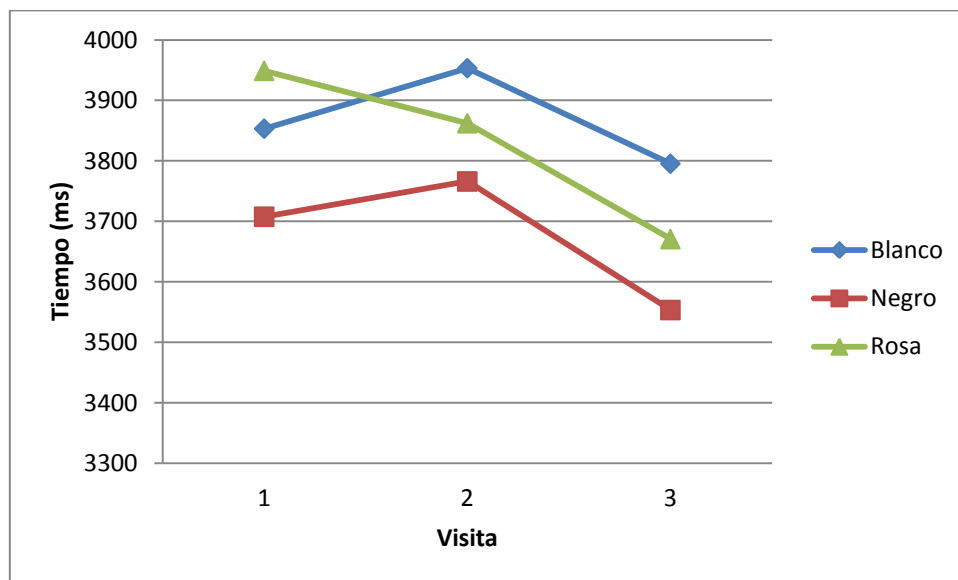


Figura 24: Tiempo medio por stylus

Por último, en la figura 27 podemos ver enfrentados los tiempos por cada escenario con cada stylus. Se aprecia claramente que el stylus negro, en cuanto al tiempo empleado en cada firma, es considerablemente inferior al blanco y al rosa.

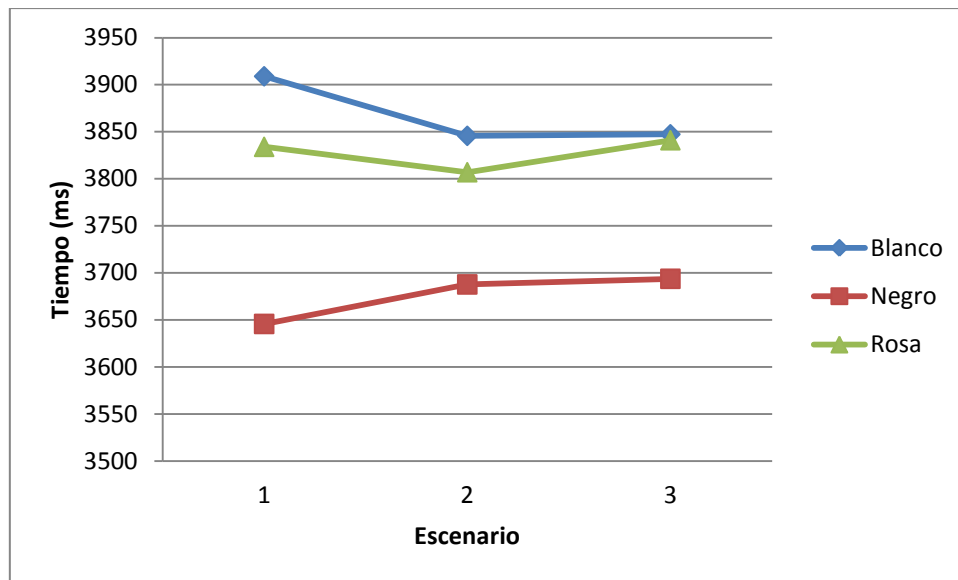


Figura 25: Tiempo medio de stylus por escenario

5.1.3. Satisfacción

La satisfacción obtenida, a través de los formularios, fue puntuada de 0 a 5, siendo 0 muy insatisfactorio y 5 muy satisfactorio. Los usuarios puntuaron la comodidad, el tiempo empleado, la facilidad de interacción, el nivel de intrusión (privacidad) y la experiencia global. Los resultados de la evaluación se proporcionan en la gráfica 28, en la que se aprecia que la puntuación general ha sido considerablemente alta. Se observa, también, que la puntuación más baja es la del tiempo empleado, sin embargo, la experiencia global es la puntuación más alta.

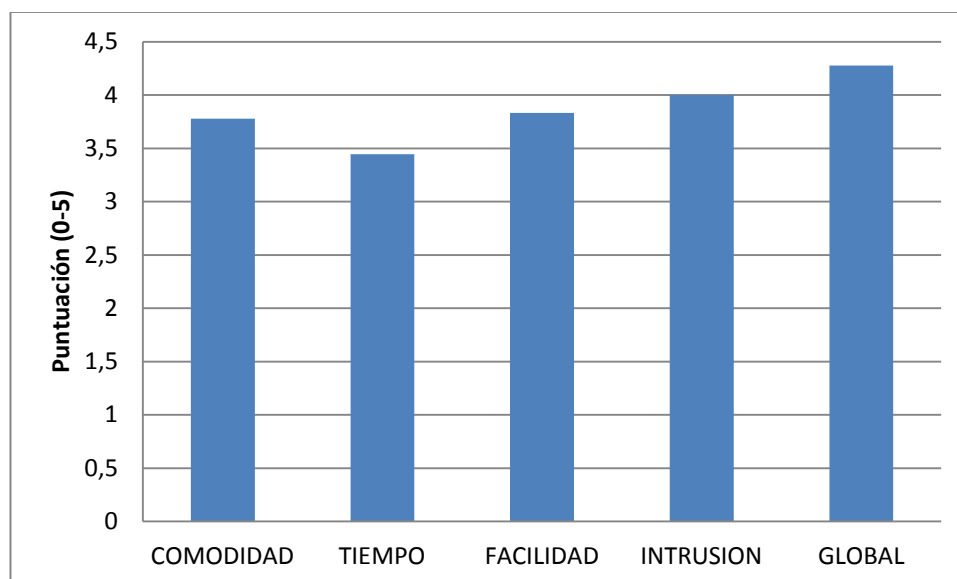


Figura 26: Niveles de satisfacción en la evaluación

Otro indicativo de la satisfacción es la voluntad, expresada por la mayoría de los usuarios, de un uso futuro de la tecnología. 14 de los usuarios volverían a utilizar el sistema de reconocimiento biométrico por firma manuscrita, como se observa en la figura 29.

5.2. Resultados del rendimiento

El rendimiento ha sido calculado a través del EER, el cual se muestra para cada uno de los styluses, en las tres visitas y en los tres escenarios. En la tabla 3, podemos observar el EER de cada stylus para los tres escenarios, cuando el patrón está formado por las tres primeras firmas de cada usuario. El valor más alto se obtiene en el primer escenario, con el primer stylus. El tercer escenario es el escenario que presenta los valores más bajos.

EER (%)			
	Rosa	Blanco	Negro
S01	3,96	0,26	0,78
S02	0,52	0,93	0,52
S03	0,26	0,13	0,13

Tabla 3: EER (%)

En la figura 30 se puede observar la curva ROC que forma cada stylus, cuando el patrón se obtiene a partir de tres firmas aleatorias y no con las tres primeras. En la curva está representado el ratio de impostores que el sistema acepta (FAR) enfrentado con las personas auténticas que el sistema acepta (1-FRR). Por tanto, cuanto más cerca de la esquina superior izquierda se encuentre la curva, mejor será el sistema, ya que significará que hay un nivel alto de usuarios genuinos aceptados y un nivel bajo de impostores aceptados.

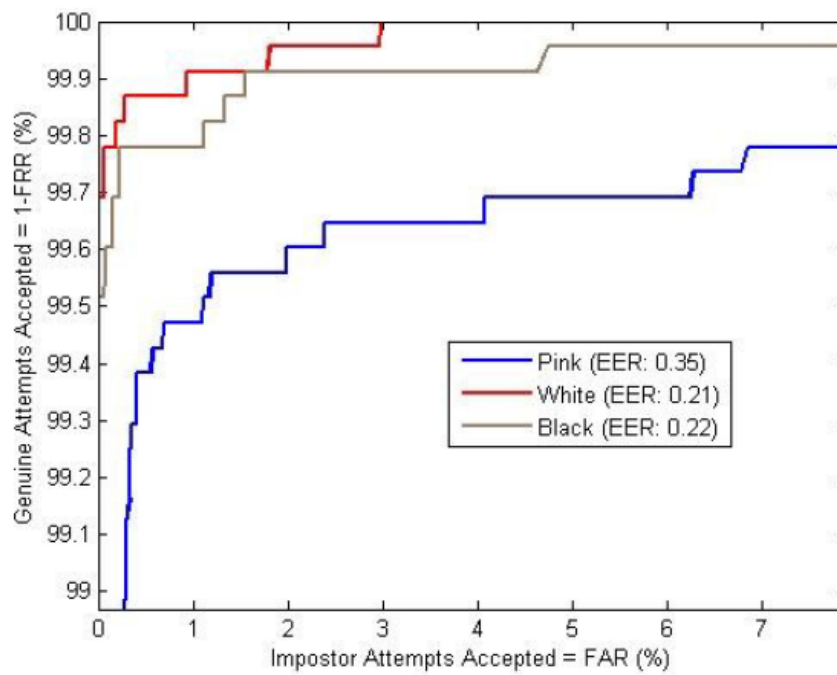


Figura 27: Curvas ROC y EER (%) del stylus rosa, blanco y negro

6. Conclusiones y trabajo futuro

6.1. Conclusiones

Al igual que en el capítulo anterior, las conclusiones toman el formato del HBSI, es decir, se dividen en dos tipos: de usabilidad y de rendimiento.

6.1.1. Conclusiones sobre la usabilidad

En cuanto a la eficiencia y a la efectividad, podemos observar un importante decrecimiento entre la visita 1 y la visita 3, en especial en el escenario 1. Esto es debido a que el escenario 1, es el primero en ser completado por el usuario en la primera visita, cuando éste no tiene ningún entrenamiento previo. Por eso, en la visita 3, los tres escenarios ya están estabilizados. Esta variación muestra la conveniencia de incluir un entrenamiento previo al uso del sistema.

El tiempo empleado por los usuarios muestra una gran dependencia del orden de los escenarios. Así, se observa que en la sesión 1, cuyo orden de escenarios es escenario 1, escenario 2, escenario 3; el mayor tiempo empleado corresponde al escenario 1, después al escenario 2 y por último al escenario 3. En la segunda visita, el orden de los escenarios es: escenario 3, escenario 2 y escenario 1. De nuevo, el mayor tiempo empleado es en el escenario 3, después en el 2 y por último en el escenario 1. En la tercera visita, los tiempos ya se han estabilizado y son muy parecidos. Se puede concluir en relación a los tiempos empleados, que los voluntarios no perciben una dificultad significativa en ningún escenario concreto. En cuanto al tiempo empleado con cada stylus, se observa que los usuarios firman significativamente más rápido con el stylus negro, de media 191,67 ms respecto del stylus blanco y 151,67 ms respecto del stylus rosa.

Respecto a la satisfacción, los usuarios consideraron el experimento correcto. La puntuación más baja se obtiene en el tiempo empleado, lo que confirma que es una de las cuestiones de más importancia y en la cual los usuarios se muestran más críticos. No obstante, en un escenario real no será requerido al usuario un número tan alto de firmas, por lo que el tiempo será considerablemente menor. De hecho, 14 de los usuarios afirman que utilizarían esta modalidad en el futuro. Los escenarios preferidos por los usuarios son, de mayor a menor preferencia, el escenario 1, el 2 y el 3. Es decir, el mejor escenario en opinión de los usuarios para realizar la firma es el escenario de referencia, utilizando una mesa. En cuanto a los styluses, el preferido es el negro, seguido del rosa y por último el blanco. Este orden de preferencias, se ajusta al tiempo empleado con cada stylus en los escenarios, ya que los tiempos más bajos se obtuvieron con el stylus con el negro. Todos los usuarios coinciden en que han adquirido la habilidad suficiente durante la evaluación para firmar correctamente en dispositivos

móviles. Observando las figuras 23 y 24, podemos afirmar que estas habilidades se han adquirido en la segunda visita, ya que es en esta visita en la cual las tasas se estabilizan. Este hecho es indicativo de la importancia del entrenamiento del usuario. La posibilidad de realizar un entrenamiento previo, supone una mejora evidente para el sistema. En cuanto al tiempo, desciende hasta el final de la evaluación, por lo que los usuarios no dejaron de adquirir habilidad.

6.1.2. Conclusiones sobre el rendimiento

Respecto al rendimiento, en la tabla 3 es destacable el valor del stylus rosa en el escenario 1, con un EER=3,96%, muy por encima del resto de los valores. Esto es debido a que el primer contacto del usuario con el dispositivo, se realiza con el stylus rosa en el escenario 1. Este dato pone de manifiesto que, al igual que en los resultados de usabilidad, la falta de entrenamiento previo es notable, así como la importancia que tiene el orden de los escenarios y de los styluses.

El escenario en el cual las tasas de error obtenidas son más bajas es el escenario 3, que a su vez es el menos preferido por los usuarios. Esto puede ser debido a diversas razones. Por un lado, el patrón es obtenido de las tres primeras firmas de la primera visita, por lo que el patrón del primer escenario será menos representativo que el patrón del último de ellos, en el cual la firma será más estable. Por otro lado, en el escenario 3 los usuarios no tenían que sujetar el iPad con las manos, ya que en este escenario el dispositivo reposaba sobre una superficie. El hecho de no tener que sujetarlo, evita efectos perniciosos, como son temblores o vibraciones. Este hecho es observable en el escenario dos, donde el EER es el peor en media. Además, el hecho de que el atril tenga una pequeña pendiente, puede ser que favorezca el proceso de la firma.

Con el patrón extraído de tres firmas aleatorias (y no las tres primeras), se observa en las curvas ROC de la figura 30, que el stylus que presenta un menor EER es el stylus blanco, con un valor muy parecido al del stylus negro (0,21% y 0,22% respectivamente). El valor del EER muestra que el rosa es significativamente el peor (0,35%), lo cual es indicativo de que la preferencia de los stylus no viene exclusivamente condicionada por la fidelidad de la firma utilizando dicho stylus, sino que también influye en la decisión la facilidad y comodidad con la que el usuario firme con el stylus.

6.2. Trabajo futuro

Uno de los objetivos de este trabajo fin de grado, era la redacción de un documento que pudiese ser una guía de trabajo para futuras evaluaciones de usabilidad. Por eso, los resultados obtenidos durante este trabajo deberían ser tenidos en cuenta para futuras investigaciones.



En el ámbito del reconocimiento biométrico por firma manuscrita, parece muy interesante integrar el stylus negro con el iPad, dados los buenos resultados obtenidos en cuanto a rendimiento y en las preferencias expresadas por los usuarios.

Otra línea de trabajo que puede ser interesante para continuar este proyecto es la inclusión de verdaderos impostores, que puedan probar la robustez del sistema falsificando las firmas de los usuarios.

Por último, la investigación más en profundidad de la interacción entre el ser humano y el dispositivo, podría proporcionar nuevas variables al análisis que ayuden a diseñar un modelo completo para medir la facilidad de uso de los sistemas.

7. Referencias

- [1] R. Blanco-Gonzalo, O. Miguel-Hurtado, A. Mendaza-Omaza y a. R. Sanchez-Reillo, «Handwritten signature recognition in mobile scenarios: Performance evaluation,» 2012.
- [2] <http://www.ipadforos.com/images/ipad/ipad.dimensiones.jpg>. [Último acceso: 23 Junio 2012].
- [3] <http://support.apple.com/kb/SP580>. [Último acceso: 21 Junio 2013].
- [4] <https://developer.apple.com/technologies/ios/>. [Último acceso: 21 Junio 2013].
- [5] mobilehtml5.org. [Último acceso: 21 Junio 2013].
- [6] A. K. Jain, P. J. Flynn y A. A. Ross, Handbook of Biometrics, Springer, 2008.
- [7] A. K. Jain, R. M. Bolle y S. Pankanti, Biometrics: Personal Identification in Networked Society, Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [8] A. K. Jain, D. Maltoni, D. Maio y S. Prabhakar, Handbook of Fingerprint Recognition, Nueva York: Springer, 2003.
- [9] M. Kücken, «Models for fingerprint pattern formation,» 2007.
- [10] A. K. Jain, S. Prabhakar y S. Pankanti, «On the similarity of identical twin fingerprints,» de *Pattern Recognition*, Nueva York, Elsevier, 2002, pp. 2653-2663.
- [11] H. C. Lee y R. E. Gaensslen, Advances in Fingerprint Technology, Nueva York: Elsevier Publishing, 2001.
- [12] <http://www.biometrika.it/eng/fx3000.html>. [Último acceso: 21 Junio 2013].
- [13] C. Methani, «Camera Based Palmprint Recognition,» 2010.
- [14] <http://www.security-technologynews.com/suppliers/biomet-partners-inc.html>. [Último acceso: 21 Junio 2013].
- [15] D. P. Sidlauskas y S. Tamer, «Hand Geometry Recognition,» de *Handbook of Biometrics*, Springer, 2008, pp. 91-107.

- [16] F. Monroe y A. Rubin, «Authentication Via Keystroke Dynamics,» pp. 48-56, 1997.
- [17] J. P. Campbell. Jr, «Speaker Recognition: A tutorial,» de *Proceedings of the IEEE*, 1997, pp. 1437-1462.
- [18] S. Sarkar y Z. Liu, «Gait Recognition,» de *Handbook of Biometrics*, Tampa, Florida, 2008.
- [19] Elliot and Kukula, «A definitional Framework for the Human-Biometric Sensor Interaction Model,» *IEEE*.
- [20] S. Elliott, E. Kukula y S. Modi, «Issues Involving the Human Biometric Sensor Interface,» de *Image Pattern Recognition: Synthesis and Analysis in Biometrics*, World Scientific, 2007, pp. 339-363.
- [21] S. Elliott, M. Mershon, V. Chandrasekaran y S. Gupta, «The Evolution of the HBSI Model with the Convergence of Performance Methodologies,» *Security Technology*, 2011.
- [22] J. Gonzalez-Rodriguez, J. Fierrez-Aguilar, D. Ramos-Castro y a. J. Ortega-Garcia, «Bayesian analysis of fingerprint, face and signature evidences with automatic biometric systems,» de *Forensic Science Intl*, 2005, pp. 126-140.
- [23] International Biometric Group, «Biometrics market and industry report,» 2006-2010.
- [24] D. Sakamoto, H. Morita, T. Ohishi, Y. Komiya y T. Matsumoto, «On-line signature verification algorithm incorporating pen position, pen pressure and pen inclination,» de *In Proc of ICASSP*, 2001, pp. 993-996
- [25] A. Osborn, *Questioned Documents*, Nueva York: Boyd Printing Co, 1929.
- [26] S. A. Daramola, «Offline Signature Recognition using Hidden Markov Model (HMM),» *International journal of computer applications*, vol. 10, nº 2, pp. 17-22, 2010.
- [27] J. M. Pascual-Gaspar, M. Faundez-Zanuy y C. Vivaracho, «Fast on-line signature recognition based on VQ with time modeling,» *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 24, nº 2, pp. 368-377, 2011.
- [28] Ó. M. Hurtado, *Online Signature Verification Algorithms and Development of Signature International Standards*, Leganés, 2011



- [29] H. B. Kekre y V. A. Bharadi, «Ageing Adaptation for Multimodal Biometrics using Adaptive Feature Set Update Algorithm,» de *Advance Computing Conference*, IEE International, 2009, pp. 535-540.
- [30] International Organization for Standardization, «ISO 9241: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) Part 11», 1998.
- [31] International Organization for Standardization, «ISO/IEC 19794-7:2007, Information technology: Biometric data interchange formats. Part 7: Signature/sign time series data», 2007.

Anexo A

HOJA DE INFORMACIÓN DE USUARIOS

Usabilidad en firma manuscrita sobre dispositivos móviles

Está siendo invitado/a a tomar parte en un estudio de investigación que tiene como finalidad ayudarnos a entender mejor cómo interactúa la gente con dispositivos móviles a la hora de realizar una firma manuscrita. De esta forma, crearemos una base de datos compuesta de firmas, imágenes y vídeos, que será utilizada para llevar a cabo el estudio de usabilidad. Nos centraremos en la facilidad que tiene el usuario para firmar en diferentes escenarios y bajo diferentes condiciones. El segundo objetivo de ésta evaluación es obtener una base de datos de firmas manuscritas que nos permitan mejorar el estado de la técnica de ésta modalidad biométrica, por esa razón es importante que las firmas que realice sean lo más semejantes posible a las que representaría en un papel.

Antes de decidir participar en ésta evaluación, es importante que usted comprenda por qué se está llevando a cabo esta recogida de datos y lo que ello supone. Por favor, tómese su tiempo para leer la siguiente información y coméntelo con otras personas si lo necesita. No dude en preguntar a la persona que lleva a cabo la investigación si encuentra algo que no esté lo suficientemente claro o si necesita más información.

Propósito del estudio

Los dispositivos móviles están cobrando gran importancia en la actualidad, utilizándose en multitud de escenarios con diferentes propósitos. Del mismo modo, la firma manuscrita se utiliza cada vez más frecuentemente para hacer compras, firmar contratos, etc. Nuestra intención es simular entornos semejantes a los que el usuario se puede encontrar habitualmente, con el objetivo de testar la usabilidad de los dispositivos móviles a la hora de recoger firmas manuscritas. La firma manuscrita es una modalidad de reconocimiento biométrico por la cual es posible reconocer a las personas de forma unívoca a través de su firma. Con esta base de datos, aparte de medir la usabilidad, contribuimos a mejorar los sistemas de reconocimiento biométrico por firma manuscrita.

Los sistemas de firma sobre dispositivos móviles son cada día más comunes, sin embargo son muchas las ocasiones en las que su facilidad de uso se ve comprometida por factores como:

- La postura que tiene que adoptar el usuario al firmar es incómoda.
- El espacio para firmar es demasiado pequeño

El estudio que queremos llevar a cabo trata sobre cómo los usuarios interactúan con el sistema, qué tipo de dificultades se encuentran y cómo evitarlas.

Nos gustaría que usted completase tres visitas que ocurrirían con, al menos, una semana de separación. En cada visita usted tendría que firmar en varias ocasiones en un dispositivo móvil colocado en diferentes posiciones con varios stylus (punteros para utilizar el móvil). Un operador le explicará el proceso al inicio y le atenderá durante la evaluación para responder a sus dudas. Será el mismo operador el que le indique cuando se ha terminado la evaluación.

Este estudio se compone de tres visitas en las que el usuario completará los mismos escenarios:

- Visita 1: Se le explicará a usted el sentido de la evaluación y se le entregará este formulario de aceptación. Posteriormente comenzará la recogida de firmas en los diferentes escenarios.
- Visita 2: No será necesaria una explicación del sistema y se pasará directamente a la recogida de las firmas.
- Visita 3: De igual modo, no será necesaria una explicación del sistema y se pasará directamente a la recogida de las firmas. Al final de la visita, se le entregará un breve cuestionario de satisfacción para que nos indique su opinión sobre la evaluación.

El tiempo empleado en cada sesión depende de cada usuario, ya que puede haber tiempos de descanso cuando el usuario lo crea oportuno.

El sistema utilizado es totalmente seguro. No le ocurrirá ningún daño físico durante la evaluación.

¿Qué pasará con las firmas que haga?

Toda la información que usted nos proporcione formará parte de una base de datos perteneciente al GUTI (Grupo Universitario de Tecnologías de Identificación), que es parte del Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad Carlos III de Madrid. Esta información sólo será utilizada por la Universidad Carlos III y será solamente para propósitos de investigación.

Las firmas obtenidas serán almacenadas con un número de usuario en vez de con su nombre. Únicamente el equipo de investigación que recoge los datos será capaz de relacionar sus firmas con sus datos personales y esta información será guardada de forma confidencial dentro del grupo de investigación.

¿Qué pasará con los resultados de la evaluación?

Los resultados de la evaluación serán documentados y presentados para publicar a la comunidad científica con el fin de mejorar el estado del arte. Sin embargo, ningún participante será identificado individualmente y ninguna muestra será publicada sin un permiso previo.

En cumplimiento de la Ley Orgánica 15/1999 de 13 de Diciembre, de Protección de Datos de carácter personal (LOPD) se le informa que los datos recogidos a través de este



formulario, serán incluidos en un fichero de datos de carácter personal titularidad de la Universidad Carlos III de Madrid. Sus datos estarán protegidos de acuerdo con la Legislación vigente, serán tratados de forma confidencial y con la máxima privacidad, con la finalidad para la que fueron suministrados y para poder mantenerle periódicamente informado de nuestras actividades y servicios. Podrá ejercer su derecho de acceso, rectificación, cancelación u oposición al tratamiento, enviando un escrito al efecto, acompañado de una fotocopia de su D.N.I. a la siguiente dirección: Calle de Madrid, 126, 28903 Getafe, Madrid.

Yo _____, con DNI _____ acepto tomar parte en la Evaluación de Usabilidad de Firma Manuscrita sobre Dispositivos Móviles.

Fdo:

A ____ de _____ de 2012

Anexo B

Formulario de satisfacción Investigación sobre usabilidad en firma en dispositivos móviles

Con este formulario pretendemos obtener datos estadísticos que nos ayuden a comprender mejor las preferencias de los usuarios para perfeccionar nuestros sistemas y obtener conclusiones sobre la evaluación. Toda la información que recopilamos será anónima. Por favor, rellénelo con calma. No tardará más de 5 minutos en completarlo. Muchas gracias.

1. ¿Es usted...?

Hombre ☐
Mujer ☐

2. ¿Qué edad tiene?

18-30 ☐
31-50 ☐
51-70 ☐

3. ¿Cuál es su raza?

Caucasiana ☐
Asiática ☐
Negra ☐
Otra ☐

4. ¿Cuál es su grado de estudios?

Sin estudios ☐
Graduado escolar ☐
Bachillerato ☐
Universitarios ☐

5. ¿Tiene algún problema en las manos/brazos que le impide firmar cómodamente?

Si ☐
No ☐

6. ¿Es usted...?

Zurdo ☐
Diestro ☐

7. ¿Está familiarizado/a con la tecnología?

Si ☐
No ☐

8. En caso afirmativo indique con qué tipo de dispositivos está más familiarizado/a

- Ordenadores ☐
Cámaras ☐
Biométricos ☐
Móviles ☐

9. ¿Ha tenido alguna experiencia previa con dispositivos biométricos o tabletas digitales?

- Si ☐
No ☐

10. En caso afirmativo, indique cuál

11. ¿Cómo valora la experiencia de ésta evaluación? ¿Ha firmado de forma cómoda?
¿Le ha llevado demasiado tiempo? ¿Ha sido como usted esperaba?

12. Marque del 1 al 3 su preferencia de escenario, siendo el 1 el más cómodo y el 3 el más incómodo)

- Escenario 1: Mesa y silla ☐
Escenario 2: Silla ☐
Escenario 3: Atril ☐

13. Puntúe los diferentes aspectos:

	Muy Insatisfactorio	Insatisfactorio	Normal	Satisfactorio	Muy Satisfactorio
Comodidad					
Tiempo empleado					
Facilidad de interacción					
Nivel de intrusión (privacidad)					
Experiencia global					

14. ¿Considera suficientes las instrucciones recibidas?

Sí ☐
No ☐

15. ¿Utilizará si tiene oportunidad aplicaciones de firma en dispositivos móviles?

Sí ☐
No ☐

16. Explique si ha tenido alguna dificultad para completar la evaluación

17. Ordene los stylus según su preferencia del 1 al 4 siendo 1 el más sencillo y cómodo de utilizar y 4 el menos.

Stylus 1: Rosa	<input type="checkbox"/>
Stylus 2: Naranja	<input type="checkbox"/>
Stylus 3: Blanco	<input type="checkbox"/>
Stylus 4: Negro	<input type="checkbox"/>

18. ¿Considera que ha adquirido la habilidad suficiente como para firmar correctamente en dispositivos móviles?

Sí ☐
No ☐
Regular ☐

Anexo C

PRESUPUESTO Y PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO

El trabajo, debido a su complejidad, se opta por dividirlo en fases más sencillas, de forma que se pueda avanzar hasta la solución final.

Fase 1: Estado de la técnica

El objetivo de esta fase es la de introducirse a la biometría y a los conceptos necesarios para llevar a cabo el proyecto mediante la lectura de distintos artículos sobre:

- a) Biometría
- b) Reconocimiento biométrico por firma manuscrita
- c) Evaluaciones
- d) HBSI
- e) Aplicación del HBSI para firma manuscrita

Fase 2: Desarrollo de la planificación de la evaluación

En esta fase, el objetivo es la redacción de un documento en el que se decidan los experimentos a realizar, cómo llevarlos a cabo, etc. Para ello, se realiza un contraste de ideas, se proponen nuevos experimentos, se estudia su viabilidad, se eligen los dispositivos, etc. En definitiva, lograr asentar las bases necesarias para lograr los resultados deseados.

Fase 3: Familiarización con los dispositivos, los escenarios y obtención de usuarios

Durante esta fase, se realizan pruebas para comprobar que todo el equipo funciona correctamente y que la evaluación se puede llevar a cabo. También se captan voluntarios que quieran participar altruistamente en la prueba.

Fase 4: Desarrollo de la evaluación

En esta fase, se realiza el proceso de la evaluación, es decir, la captura de firmas, la grabación del proceso, las notas recogidas, etc. El tiempo medio que tarda un usuario en completar una visita es de 20 a 30 minutos.

Fase 5: Recopilación de datos

Se organizan todos los datos recogidos y se procesan las firmas para extraer los resultados obtenidos.

Fase 6: Memoria y presentación TFG

Por último se redacta la memoria y se prepara una presentación del trabajo. Se realizan las correcciones necesarias y se da formato a ambos.

Gestión del tiempo:

Los horarios estipulados para cada fase son las que se presentan en la siguiente tabla:

Fase	Horas
Fase 1	40
Fase 2	40
Fase 3	10
Fase 4	100
Fase 5	40
Fase 6	70
TOTAL:	300

Tabla 4: Horas de las fases

Presupuesto:

a) Costes materiales

Los materiales utilizados han sido un ordenador portátil, una cámara IP Axis M1013, una tableta iPad, 3 styluses, un atril Stagg Atril MUS-C5TP y un trípode Bilora PromoLux S. El coste de este material se detalla a continuación.

Material	Coste
Ordenador	365 €
Cámara IP	167,69 €
iPad	300 €
Stylus rosa	5 €
Stylus blanco	9,99 €
Stylus negro	26,85 €
Atril	25 €
Trípode	29,90 €
Total	929 €

Tabla 5: Costes de los materiales

b) Coste del personal

Para realizar este trabajo, es necesaria la presencia de un jefe de proyecto y un ingeniero:

Ocupación	Horas	Precio/Hora	Importe
Jefe de proyecto	25	90	2.250 €
ingeniero	275	60	16.500 €
TOTAL	300		18.750 €

Tabla 6: Costes del personal

c) Coste total:

Concepto	Precio
Costes materiales	929 €
Costes de personal	18.750 €
Costes indirectos (20%)	3935,8 €
Subtotal	23.615 €
IVA (18%)	4.250,70 €
TOTAL	51.480,5 €

Tabla 7: Coste total del proyecto

El coste total del proyecto es de *cincuenta y un mil cuatrocientos ochenta euros con cincuenta céntimos*.

A 24 de junio de 2013

El ingeniero